Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - SM 1330

ESTIMASI HARGA *COMPOUND OPTION* TIPE EROPA PADA KASUS *A CALL ON A CALL* MENGGUNAKAN METODE *EXTENDED KALMAN FILTER* (Kajian Teoritis)

NITA MAULIDIYYATUL M
NRP 1203 100 002

Dosen Pembimbing
ENDAH ROKHMATI MP, S.Si, MT
Dr. ERNA APRILIANI, M.Si

JURUSAN MATEMATIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

FINAL PROJECT - SM 1330

ESTIMATION OF EUROPEAN A CALL ON A CALL COMPOUND OPTION USING EXTENDED KALMAN FILTER METHOD (Study Literature)

NITA MAULIDIYYATUL M
NRP 1203 100 002

Advisor Lecturer
ENDAH ROKHMATI MP, S.Si, MT
Dr. ERNA APRILIANI, M.Si

MATHEMATICS DEPARTEMENT
Faculty of Mathematics and Science
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2007

LEMBAR PENGESAHAN

ESTIMASI HARGA *COMPOUND OPTION* TIPE EROPA PADA KASUS *A CALL ON A CALL* MENGGUNAKAN METODE *EXTENDED KALMAN FILTER*

(Kajian Teoristis)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Riset Operasi dan Simulasi
Program Studi S-1 Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
NITA MAULIDIYYATUL M
Nrp. 1203 100 002

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Endah Rokhmati M.P., S.SI, MT** ( )
2. **Dr. Erna Apriliani, M.Si** ( )

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM JURUSAN MATEMATIKA

SURABAYA, AGUSTUS 2007

LEMBAR PENGESAHAN

[illegible]ASI HARGA COMPOUND OPTION
[illegible] PADA KASUS A CALL ON A CALL
[illegible]NAKAN METODE EXTENDED KALMAN
FILTER
(Kajian Teoritis)

TUGAS AKHIR
[illegible] Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Riset Operasi dan Simulasi
Program Studi S-1 Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
NITA MAULIDIYYATUL M
Nrp. 1213 100 002

[illegible] oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

[illegible] M.Si., Ph.D. [illegible]

[illegible] Apriliani, M.Si [illegible]

SURABAYA, AGUSTUS [illegible]

ESTIMASI HARGA *COMPOUND OPTION* TIPE EROPA PADA KASUS *A CALL ON A CALL* MENGGUNAKAN METODE *EXTENDED KALMAN FILTER*
(Kajian Teoritis)

Nama	: Nita Maulidiyyatul M
NRP	: 1203 100 002
Jurusan	: Matematika FMIPA- ITS
Dosen Pembimbing	: 1. Endah Rokhmati M.P,S.Si, MT 2. Dr. Erna Apriliani, M.Si

Abstrak

Option adalah kontrak keuangan yang memberikan hak kepada pemegangnya untuk membeli atau menjual aset berharga pada waktu tertentu (*maturity date*) dengan harga tertentu (*strike price*). Option mengalami perkembangan yang pesat, sehingga muncullah modifikasi option. Salah satu dari modifikasi option adalah *compound option. A call on a call compound option* merupakan salah satu jenis *compound option.* Harga a *call on a call compound option* diperoleh dari perluasan formula *Black Schools.* Untuk mengestimasi harga *A call on a call compound option* terlebih dahulu harus dilakukan estimasi volatilitas karena terdapat fluktuasi harga saham. Untuk mengestimasi harga a *call on a call compound option* digunakan metode *Extended Kalman Filter*, dimana model sistem dan model pengukurannya, yaitu *GARCH(1,1)* dan *market compound option.* Estimasi dengan menggunakan metode *Extended Kalman Filter* menghasilkan nilai H_k sama dengan nol. Hal ini diduga karena proses linierisasi yang kurang tepat.

Kata Kunci : *option*, *A call on a call compound option*, Formula *Black Scholes*, volatilitas, *GARCH (1,1)*, *Extended Kalman Filter*

ESTIMATION OF EUROPEAN A CALL ON A CALL COMPOUND OPTION USING EXTENDED KALMAN FILTER METHOD
(Study Literature)

Name	: Nita Maulidiyyatul M
NRP	: 1203 100 002
Department	: Mathematics of FMIPA-ITS
Advisor Lecturer	: 1. Endah Rokhmati M.P,S.Si, MT
	2. Dr. Erna Apriliani, M.Si

Abstract

Option is a financial contract that gives the option holder or buyer the right to buy or to sell valuable asset at certain time (maturity date) with a certain price (stike price). Option has been grew rapidly thet it had raised the option modification. One of them is compound option. A call on a call compound option price gotten by extending Black Scholes formula. And because of stock price fluctuation, for estimating a call on a call compound option price, firstly we have to estimate the volatility. Here the Extended Kalman Filter method will be used to estimate a call on a call compound option price, which the system model and the measurement model is GARCH(1,1) and market option price (a call on a call compound option price). By using Extended Kalman Filter method, we obtain estimation which have H_k *equals to zero. We predict it is caused by uncorrect linierization process.*

Keywords : *option, A call on a call compound option, Black Scholes Formula, volatility, GARCH (1,1), Extended Kalman Filter*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin, puji syukur kehadirat Allah SWT akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Estimasi Harga *Compound Option* Tipe Eropa pada kasus *A Call On A Call* Metode *Extended Kalman Filter*** " dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menempuh program S1-jurusan Matematika, F-MIPA ITS Surabaya.

Atas terselesaikannya tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Lukman Hanafi, M.Sc selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA-ITS.
2. Ibu Endah Rokhmati MP, S.Si, MT dan Ibu Dr. Erna Apriliani, M.Si selaku dosen pembimbing atas semua bimbingan dan waktu yang telah diberikan.
3. Bapak Drs. IGN Rai Ushada, M.Si dan Bapak Drs. Nurul Hidayat, M.Kom selaku dosen penguji atas saran dan kritik untuk memperbaiki Tugas Akhir ini.
4. Dra. Suprapti Hartatiati, M.Si selaku dosen wali atas bimbingan dan nasehat-nasehat selama 8 semester ini.
5. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu, staff RBM, Staff Laboratorium, karyawan Tata Usaha atas kerja sama dan bantuannya sehingga melancarkan kegiatan akademik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Harapan penulis semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Agustus 2007

Penulis

"Special Thank's to"

- Ibu, atas do'a dan nasehat-nasehat yang telah diberikan.
- Keluarga Besar Bapak Takim, nenekku, Lek Badrus, Lek Hilman, Mbak Roh, Mbak Yati atas do'a dan dukungan yang diberikan selama ini.
- Sepupu2ku Fahmi dan si ndut Abid, atas do'anya.
- Sahabat-sahabat dekatku Disa, Dwi , Wulan yang selalu memberi *support* .
- Teman seperjuanganku, Dian N, atas kebersamaan selama bimbingan dan terima kasih banyak atas bantuannya.
- Mas Angga atas bantuannya.
- Mbak Marta, mbak Tyas, terima kasih telah menjadi teman curhat dan selalu memotivasi untuk terus maju.
- Mbak Dewi'01, mbak Nita atas segala informasi yang diberikan tentang Tugas Akhir ini.
- Nurul, Novita, Vita, Lia, Vina, dan teman-teman'03 lainnya yang tak kan pernah terlupakan kenangan bersama kalian.
- Teman-teman kos ARH 104, Lina, Rike, Hanik , Retno atas do'a dan semangatnya, Erna, yang selalu mengantarkanku, Asna, Farida, dan Onet atas bantuannya, *Thank's bgt!.*
- Teman-teman kos baruku, Keputih Gang3 No. 40 yang telah menerimaku sebagai penghuni baru.
- Dewi, Rudi, Heni, Nia, serta rekan-rekan HIMATIKA, terima kasih atas do'a dan motivasinya .
- Bu Endah dan keluarga, atas waktu yang diberikan selama bimbingan.
- Adek-adekku yang imut, Uphi, Icha, Ifan, dan Amak yang sering membuatku kesal sekaligus ceria. *Love you!!!*
- Dan Temen-temen yang tidak dapat disebutkan satu persatu, *Thank's a lot!!*

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama
S_0	Harga saham pada awal *option*
S_T	Harga saham pada saat T
X	*Strike price*
X_1	*Strike price* pertama
X_2	*Strike price* kedua
σ	Volatilitas
r	Suku bunga bebas resiko
T_1	*Maturity date* pertama
T_2	*Maturity date* kedua
$f(x)$	PDF (*Probability density function*) dari Distribusi Normal *Univariate*
$F(x)$	CDF (*Cumulative density function*) dari Distribusi Normal *Univariate*
$n(x)$	PDF (*Probability density function*) dari Distribusi Normal standart *Univariate*
$N(x)$	*CDF* (*Cumulative density function*) dari Distribusi Normal standart *Univariate*
$g(z)$	PDF (*Probability density function*) dari Distribusi Lognormal
μ_x	Mean dari X
σ_x^2	Varian dari X
$f(x_1, x_2)$	PDF (*Probability density function*) dari Distribusi Normal *Bivariate*
$N_2(x_1, x_2; \rho)$	CDF (*Cumulative density function*) dari Distribusi Normal standart *Bivariate*
ω	Omega(Parameter *Garch(1,1)*)
α	Alpha(Parameter *Garch(1,1)*)
β	Beta(Parameter *Garch(1,1)*)
u_k	*Return* Pada Hari-*n*
c_n	*Market compound option price*

$c_n(-)$	Estimasi *a call on a call compound option* pada tahap prediksi
$\hat{c}_n$	Estimasi *a call on a call compound option* pada tahap koreksi
$P_k(-)$	Varian pada tahap prediksi
$v_k(-)$	Mean pada tahap prediksi
P_k	Varian pada tahap koreksi
v_k	Mean pada tahap koreksi
K_k	*Kalman Gain*
H_k	Matrik *Jacobian*
Q	Kovarian pada model dinamik
R	Kovarian pada model pengukuran
w_k	*Noise* pada sistem
y_k	*Noise* pada pengukuran
$\bar{x}_k$	Mean variable keadaan(variable keadaan stasioner) pada waktu k
$\tilde{x}_k$	Deviasi antara keadaan sebenarnya dengan keadaan stasioner
$\tilde{z}_k$	Vektor pengukuran pada waktu k

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pasar saham memegang peranan yang sangat penting dalam dunia perekonomian. Aturan dasar dalam investasi adalah pengembalian yang lebih tinggi berhubungan dengan resiko yang lebih tinggi. Dalam perkembangannya, pasar saham menawarkan berbagai macam bentuk perdagangan, misalnya kontrak keuangan yang menyatakan bahwa pemegangnya adalah pemilik dari suatu aset, dikenal sebagai sekuritas. Sekuritas turunan(*derivatife security*) yaitu sebuah sekuritas yang nilainya tergantung pada aset yang mendasarinya (*underlying asset*). Salah satu jenis sekuritas turunan adalah option.

Option adalah sebuah kontrak yang memberikan hak (bukan suatu kewajiban) kepada pemiliknya untuk membeli (*call*) atau menjual (*put*) sejumlah aset dasar (*underlying asset*) dengan harga patokan tertentu (*strike price*) sebelum ataupun saat kontrak jatuh tempo (*maturity date/expiration date*).

Beberapa tahun belakangan ini, modifikasi pasar option terus bermunculan. Salah satunya adalah option pada option (*compound option*). *Compound option* memiliki *underlying option* yang berupa option. Salah satu jenis *compound option* adalah *a call on a call*. Harga *compound option* merupakan perluasan dari formula *Black Scholes*. Formula *Black Scholes* dipengaruhi oleh *stock price*, *strike price*, *maturity date*, suku bunga bebas resiko, dan volatilitas. Harga saham berubah – ubah, pergerakan ini disebut volatilitas. Volatilitas sering dinyatakan sebagai standar deviasi dari laju perubahan harga. Untuk mengestimasi volatilitas dilakukan dengan metode *GARCH* (1,1).

Dalam Tugas Akhir yang diusulkan ini akan dibahas bagaimana mengkaji estimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus a *call on a call* menggunakan metode *Extended Kalman Filter*. Dalam mengkaji estimasi harga compound option ini, model sistem yang digunakan adalah *GARCH (1,1)* dan model pengukuran yang digunakan adalah perluasan model *Black Scholes* untuk harga *compound option* tipe Eropa pada kasus a *call on a call*. Karena model yang digunakan tak linear, maka digunakan *Extended Kalman Filter*.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan utama dalam Tugas Akhir yang diusulkan ini adalah

1. Bagaimana mengkaji perluasan model *Black Scholes* untuk mendapatkan harga *compound option* pada kasus *a call on a call.*
2. Bagaimana memperoleh estimasi harga c*ompound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call* menggunakan metode *Extended Kalman Filter.*

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Distribusi perubahan harga saham diasumsikan berdistribusi Normal.
2. Harga *compound option* dibatasi untuk suku bunga bebas resiko yang konstan dan berlaku sepanjang jangka waktu option, tidak ada biaya transaksi, pembagian deviden, pajak, dan volatilitas tidak konstan.

1.4 TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengkaji perluasan model *Black Scholes* untuk mendapatkan harga *compound option* pada kasus *a call on a call.*
2. Mengkaji estimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call*
   menggunakan metode *Extended Kalman Filter*.

Sedangkan manfaat setelah diselesaikannya Tugas Akhir ini adalah diperolehnya kajian mengenai estimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call* dengan menggunakan metode *Extended Kalman Filter* sehingga dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya dengan jenis dan metode lainnya.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari : latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan

BAB II : DASAR TEORI

Menguraikan dan mengkaji semua teori yang mendukung dalam pembahasan masalah seperti konsep-konsep dalam option, *Transition Density Function*, Distribusi Normal, Log Normal, Distribusi Normal Bivariate, formula *Black Scholes*, *GARCH(1,1)*, dan *Extended Kalman Filter*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi uraian tentang tahapan pengerjaan yang akan dilakukan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini termasuk diagram alur.

BAB IV: ESTIMASI HARGA *COMPOUND OPTION* PADA KASUS *A CALL ON A CALL* DENGAN *EXTENDED KALMAN FILTER*

Pada bab ini berisi uraian dari perluasan model *Black Scholes*, sehingga didapatkan harga *a call on a call Compound Option a call on a call* dan penjelasan secara detail pertahap bagaimana melakukan estimasi *a call on a call Compound Option* dengan metode *Extended Kalman Filter*.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah dari hasil yang didapatkan sebelumnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan diuraikan mengenai hal-hal yang berhubungan dengan *option, compound option dan* teori-teori yang mendukung dalam mengestimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call.*

Sebelum diuraikan lebih lanjut mengenai formula harga *compound option* dan bagaimana mencari penyelesaian estimasi harga *compound option* pada kasus *a call on a call*, maka akan dijelaskan terlebih dahulu mengenai pengertian option, serta teori – teori yang diperlukan dalam mengestimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call.*

2.1 *Options*

Option adalah sebuah kontrak yang memberikan hak (bukan suatu kewajiban) kepada pemiliknya untuk membeli (*call option*) atau menjual (*put option*) sejumlah aset dasar (*underlying asset*) dengan harga patokan tertentu (*strike price*) sebelum ataupun saat kontrak jatuh tempo (*maturity date/expiration date*)[7]. Setiap option melibatkan pembeli (*holder*) dan penulis option (*writer*). *Holder* adalah orang yang menerima hak dan harus membuat keputusan, sedangkan *writer* adalah orang yang memberi hak dan harus bereaksi atas keputusan *holder.*

Pada umumnya option terdiri dari dua tipe, yaitu:

1. *Call option*

   Sebuah kontrak yang memberikan hak (bukan suatu kewajiban) kepada pemiliknya untuk membeli sejumlah aset dasar (*underlying asset*) dengan harga patokan tertentu (*strike price*) sebelum ataupun saat kontrak jatuh tempo (*maturity date/expiration date)*[7].

   Contoh:

   Seorang pengusaha membeli sebuah *European call option* pada IBM dengan *strike price* \$100 (di sini berarti pengusaha tersebut membeli hak untuk membeli 100 IBM *shares* dengan harga masing-masing \$100). Seandainya harga saham saat itu \$98, premi *option* \$5, dan *maturity date* dari *option* tersebut dua bulan. Karena *option* tersebut adalah *European*, maka hanya bisa di*exercise* pada waktu *maturity date*. Jika harga saham pada saat *maturity date* lebih kecil daripada *strike price* (\$ 100) maka *option* tersebut tidak akan di*exercise*, sehingga pengusaha harus kehilangan uang \$500 dolar, sebagai pembayaran *option*. Apabila harga saham saat itu lebih besar daripada *strike price* (\$100), maka *option* tersebut harus di*exercise*. Misal, harga saham saat itu \$115. Dengan meng*exercise option*, pengusaha boleh membeli 100 shares dengan harga masing-masing \$100. Jika *shares* tersebut langsung terjual kembali, maka pengusaha akan mendapatkan keuntungan \$115-\$100 = \$15 per*share* atau \$1500. Dengan memasukkan biaya option, maka keuntungan menjadi \$1500-(5×\$100) = \$1000. Apabila harga saham saat *maturity date* \$103, maka *option* harus di*exercise*. Namun, dari hasil penjualan kembali saham, diperoleh \$103-\$100 = \$3 per share atau \$300. Jika biaya *option* dimasukkan, pengusaha akan merugi \$200 (\$300-\$500 = \$200). Namun, hasil itu akan lebih baik daripada tidak meng*exercise option*, karena pengusaha akan merugi \$500[2].

2. *Put option*

   Sebuah kontrak yang memberikan hak (bukan suatu kewajiban) kepada pemiliknya untuk menjual sejumlah aset dasar (*underlying asset*) dengan harga patokan tertentu (*strike price*) sebelum ataupun saat kontrak jatuh tempo (*maturity date/expiration date)*[7].

   Contoh:

   Seorang pengusaha membeli sebuah *European put option* pada *Exxon* dengan *strike price* \$70 (di sini berarti pengusaha tersebut membeli hak untuk menjual 100 *Exxon shares* dengan harga masing-masing \$70). Seandainya harga saham saat itu \$66, premi *option* \$7, dan *maturity date* dari *option* tersebut dua bulan. Karena *option* tersebut adalah *European*, maka hanya bisa di*exercise* pada waktu *maturity date*. *Option* hanya bisa di*exercise* jika harga saham di bawah *strike price*, \$70. Seandainya harga saham saat itu \$50 pada saat *maturity date*, pengusaha dapat membeli saham seharga 100×\$50 = \$5000 dan menjualnya seharga *strike price* (100×\$70 = \$7000), sesuai dengan *put option*, sehingga keuntungan yang diperoleh adalah \$7000-\$5000 = \$2000. Jika dimasukkan premi *option*, keuntungan menjadi \$2000 - (100×\$7) = \$1300. Apabila harga saham di atas \$70, maka *put option* tidak di*exercise* dan pengusaha harus merugi 100×\$7=\$700[2].

Dalam perdagangan option *underlying asset* yang diperdagangkan meliputi saham (*stock*), index, kurs mata uang (*currency*), dan lain-lain[1]. Ketika hak untuk membeli atau menjual tersebut digunakan oleh pemiliknya, dikatakan bahwa option telah di*exercise*[6]. Ada dua macam gaya *exercise* yaitu:

1. *European Option*
   Option hanya dapat di*exercise* tepat pada saat jatuh tempo (*maturity date)*.
2. *American Option*
   Option dapat di*exercise* sewaktu-waktu, sampai dengan batas *maturity date*.

Selajutnya akan diuraikan mengenai komponen-komponen dalam kontrak option, posisi dalam option, option berdasarkan nilai intrisik, keuntungan-keuntungan dari perdagangan option serta faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya nilai *European Option.*

2.1.1 Komponen – Komponen Dalam Kontrak *Option*

Beberapa hal yang perlu untuk diketahui dalam *stock option*, diantaranya adalah *maturity date*, *strike price*, premi, dan sekuritas yang mendasari[6].

1. Aset dasar yang mendasari

   Option yang diperdagangkan dalam pasar *option* hanya tersedia untuk sekuritas-sekuritas tertentu dan indeks-indeks yang disetujui. Sekuritas-sekuritas ini disebut sebagai aset dasar yang mendasari (*underlying asset*). Sekuritas-sekuritas ini harus diperdagangkan dalam pasar modal dan dipilih oleh organisasi *clearing* sesuai dengan persyaratan tertentu.

2. *Maturity date*

   Option mempunyai jangka waktu hidup terbatas dan menjadi kadaluarsa pada *maturity date* yang telah ditetapkan oleh organisasi *clearing*. *Maturity date* adalah tanggal dimana semua option yang tidak di*exercise* dari seri option tetentu jatuh tempo dan hari terakhir perdagangan untuk seri option tersebut. Untuk saham, *maturity date* umumnya adalah kamis sebelum jumat akhir dalam bulan tersebut. Untuk *index option*, *maturity date* umumnya adalah hari jumat ketiga dalam bulan kontrak. Namun demikian, organisasi *clearing* memiliki hak untuk mengubah *maturity date* bila perlu.

   Pada umumnya semua option mengikuti satu dari 3 siklus kuartalan ini, yaitu:

   a. Siklus Januari : Januari/April/Juli/Oktober, atau
   b. Siklus Februari: Februari/Mei/Agustus/November, atau
   c. Siklus Maret : Maret/Juni/September/Desember.

3. *Strike Price*

   Strike price adalah harga pembelian atau penjualan yang telah ditentukan untuk saham yang mendasari jika *option* di*exercise*. Organisasi *clearing* menentukan *strike price* untuk semua *option* yang terdaftar dalam pasar *option*.

Pada umumnya terdapat jangkauan *strike price* yang tersedia untuk *option-option* yang memiliki tanggal *maturity date* yang sama. *Strike price* yang baru dicantumkan jika harga aset berubah. Jangkauan *strike price* meliputi satu *strike price* yang dekat dengan harga aset saat ini dan dua *strike price* di atas dan dua *strike price* di bawah harga aset dasar saat ini.

Contoh:

Jika saham yang mendasari berharga $4.50 adalah sangat mungkin kontrak *option* dengan *strike price* yang didaftarkan yaitu: $4.00, $4.25, $4.50, $4.75, dan $5.00. Jangkauan *strike price* ini memberi kesempatan investor untuk secara lebih efektif mencocokkan prediksi mereka terhadap pergerakan harga saham ke posisi *option*.

4. Premi

   Premi adalah harga yang harus dibayar untuk membeli *option*[6]. Premi merupakan satu-satunya komponen yang tidak ditentukan oleh organisasi *clearing*[5].

5. Ukuran Kontrak

   Dalam pasar *option,* ukuran kontrak *option* umumnya distandardisasi pada 100 saham yang mendasarinya. Artinya, satu kontrak option mewakili 100 saham yang mendasarinya[1].

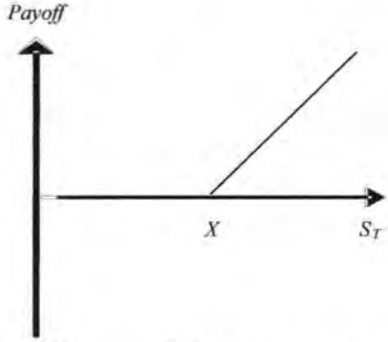
2.1.2 Posisi Dalam Option

Ada empat posisi utama yang mungkin dalam *option*[1], sebagai berikut :

1. *Long position* pada *call option*

   Long position pada *call option* adalah investor membeli *call position.* Jika X adalah strike price dan S_T harga akhir dari aset dasar, maka *payoff long position* pada *European call option* sebagai berikut:

$$\max (S_T - X, 0)$$

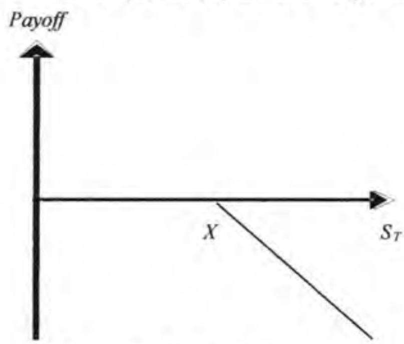


X = *Strike price*
S_T = Harga aset saat *maturity date*

Gambar 2.1
Payoff Long Position dalam *European Call Option*

2. *Short position* pada *call option*
   Short position pada *call option* berarti investor menjual *call option.* Jika X adalah *strike price* dan S_T harga akhir dari aset dasar, maka *payoff short position* pada *European call option* sebagai berikut:

$$-\max (S_T - X, 0) \text{ atau } \min (X - S_T, 0)$$



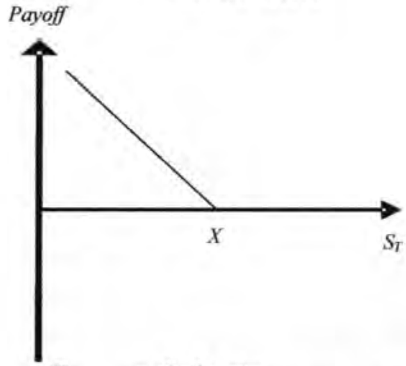
X = *Strike price*
S_T = Harga aset saat *maturity date*

Gambar 2.2
Payoff Short Position dalam *European Call Option*

3. *Long position* pada *put option*.

   Long position pada *put option* berarti investor membeli *put option*. Jika X adalah *strike price* dan S_T harga akhir dari aset dasar, maka *payoff long position* pada *European put option* sebagai berikut:

$$\max(X - S_T, 0)$$



X = *Strike price*
S_T = Harga aset saat *maturity date*

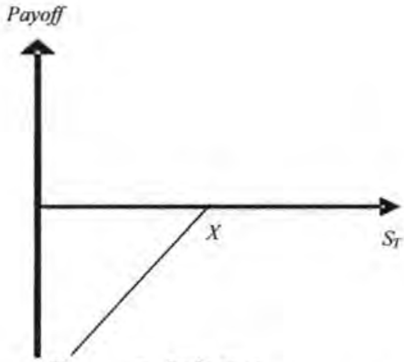
Gambar 2.3

Payoff Long Position dalam *European Put Option*

4. *Short position* pada *put option*.

   Short position pada *put option* berarti investor menjual *put option*. Jika X adalah *strike price* dan S_T harga akhir dari aset dasar, maka *payoff short position* pada *European put option* sebagai berikut:

$$-\max(X - S_T, 0) \text{ atau } \min(S_T - X, 0)$$



X = *Strike price*
S_T = Harga aset saat *maturity date*

Gambar 2.4
Payoff Short Position dalam *European Put Option*

Keempat macam *option position* di atas diperlukan dalam mengkarakteristik untuk menggambarkan strategi-strategi sederhana dari option. Dalam *European option position*, pembayaran kepada pengusaha saat *maturity date*.

2.1.3 *Option* Berdasarkan Nilai Intrisik

Nilai intrinsik adalah perbedaan antara harga *exercise* (*strike price*) dari option dan harga saham yang yang mendasarinya pada waktu tertentu. Berdasarkan nilai intrinsiknya option dapat dibedakan sebagai berikut:

1. *In the money*

   Jika S adalah harga saham dan X adalah *strike price*, *call option* dikatakan *in the money* ketika $S > X$. Sedang pada *put option* dikatakan *in the money* jika $S < X$.
2. *At the money*

   Jika S adalah harga saham dan X adalah *strike price*, *call option* dikatakan *at the money* ketika $S = X$. Sedang pada *put option* dikatakan *at the money* jika $S = X$.

3. *Out the money*
   Jika S adalah harga saham dan X adalah *strike price*, *call option* dikatakan *out the money* ketika $S < X$. Sedang pada *put option* dikatakan *out the money* jika $S > X$.

2.1.4 Keuntungan-keuntungan dari Perdagangan Option

Adapun keuntungan-keuntungan yang diperoleh dari perdagangan option sebagai berikut[6]:

1. Waktu Untuk Memutuskan
   Dengan mengambil *call option*, harga beli untuk aset dasar dikunci. Ini memberi kesempatan kepada pemegang *call option* sampai *maturity date* untuk memutuskan apakah dia pemegang *call* ingin meng*exercise option* dan membeli aset dasar atau tidak. Sebaliknya untuk *put option*, memberi kesempatan pemegang *put option* untuk meng*exercise option* dan menjual aset dasar atau tidak.
2. Manajemen Resiko
   Put option memberi kesempatan investor yang memiliki saham untuk melakukan *hedge* (melindungi atau menjaga nilai saham tersebut) terhadap kemungkinan kejatuhan harga.
3. Spekulasi
   Kemudahan *option* memungkinkan memperjualbelikan *option* tanpa maksud untuk meng*exercise option* tersebut. Apabila harapan pasar naik, maka investor akan membeli *call option*, demikian sebaliknya jika harapan pasar akan turun, investor akan membeli *put option* untuk mengambil keuntungan sebanyak-banyaknya.
4. *Leverage* (daya)
   Option memberikan kesempatan untuk mendapatkan pengembalian lebih tinggi tinggi daripada melakukan investasi secara langsung.

2.1.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Besarnya Nilai *European Option*

Terdapat hal-hal yang secara langsung mempengaruhi nilai dari option tanpa pembagian deviden[7], antara lain:

1. Harga saham saat ini (*current price*)

   Pengaruh harga saham berhubungan dengan antisipasi nilai option saat jatuh tempo. Makin tinggi harga saham, makin tinggi nilai dari *call option*. Hal yang sebaliknya berlaku untuk *put option*.

2. *Strike price*.

   Pengaruh *strike price* berhubungan dengan antisipasi *payoff* pada saat option saat jatuh tempo. Semakin tinggi *strike price* dari *call option, akan* semakin rendah antisipasi *payoff call option*. Sedangkan untuk *put option*, semakin tinggi *strike price* suatu *put option*, akan makin tinggi pula *payoff put option*.

3. Volatilitas harga saham.

   Volatilitas adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur pergerakan harga aset dasar ang bersifat stokastik. Dengan meningkatnya volatilitas, probabilitas untuk memperoleh harga yang lebih tinggi atau lebih rendah pada saat *option* jatuh tempo juga akan meningkat. Karena *payoff* pada sebuah *call option* dan *put option* dilindungi dari hasil yang tidak menguntungkan (harga aset dasar yang rendah pada sebuah *call option* dan yang tinggi pada sebuah *put option* saat *option* jatuh tempo), dan semakin tinngi volatilitas berarti semakin tinggi probabilitas untuk memperoleh hasil yang menguntungkan (harga aset dasar yang tinggi pada sebuah *call option* dan yang rendah pada sebuah *put option* saat jatuh tempo), sehingga nilai dari *call option* dan *put option* akan meningkat seiring dengan meningkatnya volatilitas.

4. Suku bunga bebas resiko.
   Jika harga saham saat ini lebih tinggi dari *strike price*nya, kemungkinan pemilik *call option* akan meng*exercise option*nya akan semakin besar. Sedangkan kemungkinan pemilik *put option* untuk meng*exercise option*nya akan semakin kecil. Karena itu semakin tinggi suku bunga bebas resiko maka *call option*
5. Jangka waktu jatuh tempo
   Semakin lama waktu *maturity date*, akan semakin tinggi nilai dari *call*. Dan semakin cepat *maturity date*, maka akan semakin tinggi nilai *put*.

2.2 Distribusi Normal dan Lognormal

Distribusi normal dan lognormal digunakan dalam penguraian untuk mendapatkan harga *compound option* dari perluasan model *Black Scholes*. *Probability density function* (PDF) dan *Cumulative Distribution Function (CDF)* dari distribusi normal *univariate* dengan mean μ dan varian σ^2 sebagai berikut[1]:

PDF: $$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right);\quad X\sim N(\mu,\sigma^2) \qquad (2.1)$$

dengan $-\infty<x<\infty, -\infty<\mu<\infty$ dan $0<\sigma<\infty$.

CDF: $$F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{x}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)dt;\quad X\sim N(\mu,\sigma^2) \qquad (2.2)$$

dengan $-\infty<t<\infty, -\infty<\mu<\infty$ dan $0<\sigma<\infty$.

Persamaan (2.1) dan (2.2) merupakan distribusi normal standar, jika variabel memiliki *mean* nol dan standar deviasi satu. Sehingga *Probability Density Function* dan *Cumulative Distribution Function* dapat dinotasikan dengan *n(x)* dan *N(x)*, yaitu:

PDF : $$n(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2};\, X\sim N(0,1) \qquad (2.3)$$

CDF : $N(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\int_{-\infty}^{x}e^{-t^2/2}dt\,;\,X\sim N(0,1)$ (2.4)

Jumlahan dari N variabel bebas yang berdistribusi normal $X_i, i = 1,2,...,N$ juga berdistribusi normal, dimana $X_i \sim iidN$. Misal $Y = X_1 + X_2 + ... + X_N$, maka mean dan varian dari masing-masing adalah sebagai berikut[2]:

$$E(Y) = E(X_1) + E(X_2) + ... + E(X_N) \quad (2.5)$$

dan

$$\mathrm{var}(Y) = \mathrm{var}(X_1) + \mathrm{var}(X_2) + ... + \mathrm{var}(X_N) \quad (2.6)$$

Jika x berdistribusi normal dengan mean μ_x dan varian σ_x^2, maka $z = e^x$ dikatakan berdistribusi lognormal. Fungsi densitas dari distribusi lognormal sebagai berikut :

$$g(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x z}\exp\left(-\frac{(\ln z-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (2.7)$$

Mean dari z didefinisikan sebagai $E(z;z>a)$, maka didapatkan:

$$E(z;z>a)=\int_a^{\infty}zg(z)dz$$

$$=\int_a^{\infty}z\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x z}\exp\left(-\frac{(\ln z-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)dz$$

Dengan memisalkan $z = e^x$ dan , maka dapat diuraikan sebagai berikut:

$$E(z;z>a)=\int_{\ln a}^{\infty}\frac{e^x}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)dx$$

$$=\int_{\ln a}^{\infty}\frac{e^x}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(-\frac{(x-\mu_x)^2-2x\sigma_x^2}{2\sigma_x^2}\right)dx$$

$$=\int_{\ln a}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(-\frac{\left([x-(\mu_x+\sigma_x^2)]^2-2\mu_x\sigma_x^2-\sigma_x^4\right)}{2\sigma_x^2}\right)dx$$

$$= \int_{\ln a}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{[x-(\mu_x+\sigma_x^2)]^2}{2\sigma_x^2} + \frac{2\mu_x\sigma_x^2+\sigma_x^4}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

.... (2.8)

Persaman (2.8) dapat dinyatakan sebagai:

$$E(z; z>a) = \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2} \right) \int_{\ln a}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{[x-\mu_x-\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

..........(2.8a)

Dimana

$$\int_{\ln a = x}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{[x-\mu_x-\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \int_{x}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{[-\mu_x+x-\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \int_{\ln a}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{[x-(\mu_x+\sigma_x^2)]^2}{2\sigma_x^2} \right) \exp\left(\frac{2\mu_x\sigma_x^2+\sigma_x^4}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \int_{x}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{\left[(-1)\left(\frac{\mu_x - x + \sigma_x^2}{\sigma_x} \right) \right]^2}{2} \right) dx \qquad (2.8b)$$

Persamaan (2.8b) dapat dinyatakan sebagai:

$$\int_{x}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{\left[(-1)\left(\frac{\mu_x - x + \sigma_x^2}{\sigma_x} \right) \right]^2}{2} \right) dx$$

$$= \int_{-\infty}^{x} (-1) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{\left[\frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + \sigma_x \right]^2}{2} \right) dx \qquad (2.8c)$$

Dengan mengambil $\mu_x = 0$ dan $\sigma_x = 1$ dan dimisalkan $t = \frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + \sigma_x = -x + 1$, maka $dt = -dx$. Sehingga persamaan (2.8c) menjadi :

$$\int_{-\infty}^{x} (-1) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{\left[\frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + \sigma_x \right]^2}{2} \right) dx$$

$$= \int_{-\infty}^{x} (-1) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(\frac{-t^2}{2} \right) (-dt)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \int_{-\infty}^{x} e^{\frac{-t^2}{2}} dt$$

$$= N\left(\frac{\mu_x - \ln a}{\sigma_x} + \sigma_x \right) \qquad (2.9)$$

Sehingga penyelesaian dari persamaan (2.8a) adalah:

$$E(z; z > a) = \int_{a}^{\infty} z g(z) dz$$

$$= \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2} \right) \int_{\ln a}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{[x - \mu_x - \sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2} \right) N\left(\frac{\mu_x - \ln a}{\sigma_x} + \sigma_x \right) \qquad (2.10)$$

Untuk $a \rightarrow 0$, maka mean dari variabel lognormal z adalah:

$$\mu_z = \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2} \right) \tag{2.11}$$

Varian dari z adalah sebagai berikut :

$$\sigma_z^2 = \int_0^{\infty} z^2 g(z) dz - \mu_z^2$$

$$= \int_0^{\infty} z^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x z} \exp\left(- \frac{(\ln z - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2} \right) dz - \mu_z^2 \tag{2.12}$$

Dengan memisalkan $x = \ln z$, sehingga $z = e^x$. Persamaan (2.12) dapat dinyatakan sebagai:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{2x}}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2} \right) dx - \mu_z^2$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{\left([x - (\mu_x + 2\sigma_x^2)]^2 - 4\mu_x \sigma_x^2 - 4\sigma_x^4 \right)}{2\sigma_x^2} \right) dx - \mu_z^2$$

$$= \exp\left(2\mu_x + 2\sigma_x^2\right) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{[x - \mu_x - 2\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx - \mu_z^2$$

.........(2.12a)

Dengan

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{[x - \mu_x - 2\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{[x - \mu_x - 2\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2} \right) dx$$

$$= \int_{-\infty}^{x} (-1) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(- \frac{\left[\frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + 2\sigma_x \right]^2}{2} \right) dx \tag{2.12b}$$

Dengan mengambil $\mu_x = 0$ dan $\sigma_x = 1$ dan dimisalkan $t = \frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + 2\sigma_x = -x + 2$, maka $dt = -dx$. Sehingga penyelesaian persamaan (2.12b) sebagai berikut:

$$\int_{-\infty}^{x} (-1)\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(-\frac{\left[\frac{\mu_x - x}{\sigma_x} + 2\sigma_x\right]^2}{2}\right)dx$$

$$= \int_{-\infty}^{x} (-1)\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(\frac{-t^2}{2}\right)(-dt)$$

$$= \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(\frac{-t^2}{2}\right)dt$$

$$= N\left(\frac{\mu_x - \ln a}{\sigma_x} + 2\sigma_x\right) \qquad (2.12c)$$

Sedangkan

$$\mu_z^2 = \left(\exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2}\right)\right)^2$$

$$= \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2}\right)\exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2}\right) \qquad (2.13)$$

Persamaan (2.13) dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_z^2 = \exp\left(\mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2} + \mu_x + \frac{\sigma_x^2}{2}\right)$$

$$= \exp(2\mu_x + \sigma_x^2) \qquad (2.14)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.12c) dan (2.14) ke persamaan (2.12a), maka varian dari z adalah :

$$\sigma_z^2 = \int_0^{\infty} z^2 g(z)dz - \mu_z^2$$

$$= \exp(2\mu_x + 2\sigma_x^2)\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}\exp\left(-\frac{[x-\mu_x+2\sigma_x^2]^2}{2\sigma_x^2}\right)dx - \mu_z^2$$

$$= \exp(2\mu_x + 2\sigma_x^2)N\left(\frac{\mu_x - \ln a}{\sigma_x} + 2\sigma_x\right) - \exp(2\mu_x + \sigma_x^2)$$

.......(2.15)

Untuk $a \rightarrow 0$, maka varian dari z pada persamaan (2.15) adalah

$$\sigma_z^2 = \exp(2\mu_x + 2\sigma_x^2) - \exp(2\mu_x + \sigma_x^2)$$
$$= \exp(2\mu_x + 2\sigma_x^2)[\exp(\sigma_x^2) - 1] \quad (2.16)$$

Sedangkan PDF dari distribusi normal *bivariate* dengan mean μ dan varian σ^2 adalah[1]:

$$f(x_1,x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left\{-\frac{1}{2}\frac{1}{1-\rho^2}\left[\left[\left(\frac{x_1-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{x_1-\mu_1}{\sigma_1}\right)\left(\frac{x_2-\mu_2}{\sigma_2}\right)\right]\right.\right.$$
$$\left.\left. + \left(\frac{x_2-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2\right]\right\} \quad (2.17)$$

Jika dimisalkan $z_1 = \frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1}$ dan $z_2 = \frac{x_2 - \mu_2}{\sigma_2}$, maka PDF dari distribusi normal *bivariate* standard sebagai berikut :

$$f(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{1}{1-\rho^2}(z_1^2 - 2\rho z_1 z_2 + z_2^2)\right]$$

......(2.18)

dan CDF dari distribusi normal *bivariate* adalah[3]:

$$N(x_1, x_2; \rho) = \int_{-\infty}^{x_1}\int_{-\infty}^{x_2}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{1}{1-\rho^2}(z_1^2 - 2\rho z_1 z_2 + z_2^2)\right]dz_2\, dz_1$$

.......(2.19)

2.3 Transition Density Function

$\psi(S_T; S)$ adalah *transition density function* dari harga asset dasar saat T yang dinotasikan S_T, dan harga aset dasar S pada saat

t (*present time*). Dengan bunga bebas resiko r dan varian σ^2. Jika $\ln\frac{S_T}{S}$ berdistribusi normal dengan mean $\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)$ dan varian $\sigma^2(T-t)$, maka *transition density function* didefinisikan sebagai berikut[3] :

$$\psi(S_T;S)=\frac{1}{S_T\sigma\sqrt{2\pi(T-t)}}\exp\left(-\frac{\left\{\ln S_T-\left[\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)\right]\right\}^2}{2\sigma^2(T-t)}\right)$$

.......(2.20)

2.4 Formula Black Scholes

Formula Black Scholes digunakan untuk menentukan harga awal *European option* baik itu *call option* maupun *put option*. Formula Black Scholes tanpa pembagian dividen dituliskan sebagai berikut[2]:

$$c=S_0N(d_1)-Xe^{-rT}N(d_2) \qquad (2.21)$$

dan

$$p=Xe^{-rT}N(-d_2)-S_0N(-d_1) \qquad (2.22)$$

Dengan

$$d_1=\frac{\ln(S_0/X)+(r+\sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2=\frac{\ln(S_0/X)+(r-\sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}=d_1-\sigma\sqrt{T}$$

$N(x)$ adalah CDF dari distribusi normal dengan mean nol dan standar deviasi 1.0. S_0 harga saham pada awal *option*, X adalah *strike price*, r adalah suku bunga bebas resiko, σ adalah volatilitas harga saham dan T *maturity date* dari *option*.

Formula *Black Scholes* untuk *call option* ini akan diperluas untuk mendapatkan harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call.*

2.5 *Compound Option*

Compound option sama dengan option biasa, tetapi aset dasarnya adalah sebuah option[7]. *Compound option* memiliki dua *strike price* dan dua *expiration date.*

Ada empat macam tipe c*ompound option*[3], yaitu

1. *A call on a call*

   Pemegang *compound option* memiliki hak untuk membeli *underlying call option* dengan *strike price* pertama (X_1) pada *expiration date* pertama (T_1). *Underlying call* option juga memberi hak kepada pemegang untuk membeli aset dengan *strike price* kedua (X_2) pada *expiration date* selanjutnya (T_2).
2. *A call on a put*

   Pemegang *compound option* memiliki hak untuk membeli *underlying put option* dengan *strike price* pertama (X_1) pada *expiration date* pertama (T_1). *Underlying put* option juga memberi hak kepada pemegang untuk menjual aset dengan *strike price* kedua (X_2) pada *expiration date* selanjutnya (T_2)
3. *A put on a call*

   Pemegang *compound option* memiliki hak untuk menjual *underlying call option* dengan *strike price* pertama (X_1) pada *expiration date* pertama (T_1). *Underlying call* option juga memberi hak kepada pemegang untuk membeli aset dengan *strike price* kedua (X_2) pada *expiration date* selanjutnya (T_2)
4. *A put on a put*

   Pemegang *compound option* memiliki hak untuk menjual *underlying put option* dengan *strike price* pertama (X_1)

pada *expiration date* pertama (T_1). *Underlying put* option juga memberi hak kepada pemegang untuk menjual aset dengan *strike price* kedua (X_2) pada *expiration date* selanjutnya (T_2).

Harga *a call on a call compound option* merupakan perluasan dari formula *Black Scholes* yang didapatkan dengan menggunakan *discounted expectation*. Dimana *discounted expectation* adalah:

$$\begin{aligned} c(S,t) &= e^{-r(T_1-t)}E\left(\max\left(\tilde{c}\left(S_{T_1},T_1\right)-X_1,0\right)\right) \\ &= e^{-r(T_1-t)}\int_0^{\infty}\max\left(\tilde{c}\left(S_{T_1},T_1\right)-X_1,0\right)\psi\left(S_{T_1};S\right)dS_{T_1} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Sehingga harga *a call on a call compound option* sebagai berikut[3]:

$$c(S,t) = SN_2(a_1,b_1;\rho) - X_2e^{-r(T_2-t)}N_2(a_2,b_2;\rho) - X_1e^{-r(T_1-t)}N(a_2) \quad \ldots\ldots(2.24)$$

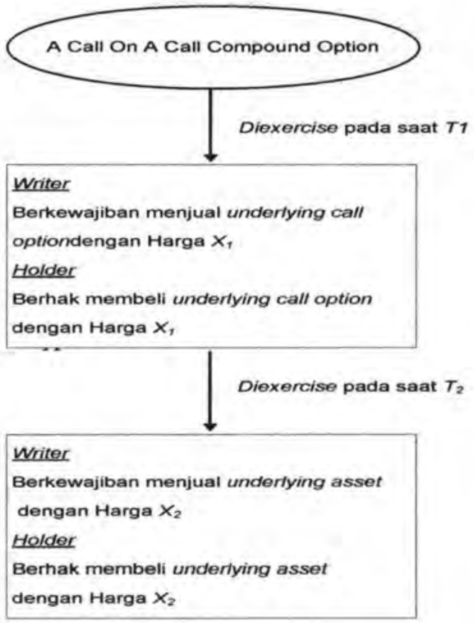
Dengan

$$a_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}, \quad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1-t}$$

$$b_1 = \frac{\ln\frac{S}{X_2} + \left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}, \quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2-t}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{T_1-t}{T_2-t}}$$

Hak dan kewajiban *holder* dan *writer call on a call compound option* dapat digambarkan dalam diagram berikut ini:



Gambar 2.5
Mekanisme *a call on a call compound option*

Permasalahan yang kemudian timbul adalah pergerakan volatilitas yang bersifat stokastik sehingga dibutuhkan sebuah metode yang dapat mengestimasi besarnya volatilitas harga saham. Metode yang digunakan untuk mengestimasi volatilitas adalah *Historical Data,* dalam hal ini dengan metode *GARCH (1,1)*.

2.6 Model *GARCH* (*Generalized Autoregressive Conditional Heterocedastic*)

Metode *GARCH* telah secara luas dipakai sebagai pendekatan pada variabel ekonomi khususnya volatilitas[8]. Model *GARCH* menjadi penting dalam hal menilai aset berharga dan manajemen resiko finansial setelah hasil kerja dari *Eagle* (1982) dan *Bollerslev* (1986). Salah satu jenis model *GARCH* adalah *GARCH (1,1)*.

GARCH (1,1) pertama kali dipopulerkan oleh *Bollerslev* pada tahun 1986. σ^2_k dihitung dari *long run average variance rate*(V), baik dari σ_{k-1} dan u_{k-1}. Persamaan *GARCH (1,1)* adalah[2]:

$$\sigma_k^2 = \gamma V + \alpha u_{k-1}^2 + \beta\sigma_{k-1}^2 \qquad (2.25)$$

Dimana γ bobot dari *V*, α bobot dari u_{k-1}^2, dan β bobot dari σ_{k-1}^2. Dan karena bobot harus berjumlah satu, maka $\gamma+\alpha+\beta=1$.

Arti (1,1) pada GARCH(1,1) menunjukkan bahwa σ_k^2 berdasarkan pada pengamatan terbaru dari u^2 dan perkiraan terbaru dari *variance rate*. Secara umum GARCH (*p*,*q*) menghitung σ_k^2 berdasarkan *p*-pengamatan terbaru pada u^2 dan perkiraan rata-rata terbaru selama *q* varian.

Jika $\omega = \gamma V$ maka *GARCH (1,1)* dapat ditulis

$$\sigma_k^2 = \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta\sigma_{k-1}^2 \qquad (2.26)$$

Untuk menghitung *varian rate* harian, u_k didefinisikan sebagai perubahan proporsional pada *market variabel* diantara akhir hari ke-k-1 dan akhir hari ke-k sehingga dapat dinyatakan dengan :

$$u_k = \frac{S_k - S_{k-1}}{S_{k-1}}\text{, dimana } S_{k-1} \neq 0 \qquad (2.27)$$

Sebelum menggunakan model *GARCH (1,1),* terlebih dahulu harus dilakukan estimasi dari parameter-parameter ω, α, β. Dimana untuk mengestimasi parameter-pareameter tersebut digunakan metode *Maximum Likelihood.*

2.7 Filter Kalman

Kalman filter menggabungkan data pengukuran dan model dinamik hal ini disebabkan tidak ada model matematika yang sempurna karena terdapat hal-hal tertentu yang tidak dapat dimodelkan yang disebut sebagai noise.

Secara umum Persamaan dinamik stokastik diskrit linier ditulis sebagai berikut:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + Gw_k \tag{2.28}$$

Dengan model pengukuran:

$$z_k = H_k x_k + y_k \tag{2.29}$$

Dengan

x_{k+1} = Variabel keadaan pada waktu *k+1* dan berdimensi $n \times 1$

x_k = Variabel keadaan pada waktu *k* dan berdimensi $n \times 1$

u_k = Vektor masukan deterministik pada waktu *k* dan berdimensi $m \times 1$

w_k Noise pada sistem berdimensi $m \times 1$ dengan mean nol dan kovarian yang diketahui, yaitu *Q*, atau ditulis

$E\{w_k\} = 0$

$Cov\{w_k, w_k\} = E(w_k w_k^T) = Q$

z_k = Vektor keluaran atau pengukuran berdimensi $l \times 1$

y_k = Noise berdimensi $l \times 1$ pada pengukuran dengan mean nol dan kovarian *R*, atau ditulis

$E\{y_k\} = 0$

$Cov\{y_k, y_k\} = E(y_k y_k^T) = R$

A = Matrik berdimensi $n \times n$ yang merupakan koefisien Persamaan dinamik

G = Matrik berdimensi $n \times m$ yang merupakan pasangan proses noise

H_k = Matrik berdimensi $l x n$ yang mempengaruhi pengukuran

Barisan vektor acak $\{w_k\}$ maupun $\{y_k\}$ diasumsikan tidak berkorelasi, merupakan *white noise* dan berdistribusi normal, secara umum dapat ditulis:

$$w_k \sim N(0,Q) \text{ dan } y_k \sim N(0,R)$$

Pada Filter Kalman, memiliki dua tahap dalam penaksiran, yaitu tahap prediksi dan tahap koreksi. Tahap prediksi adalah cara memprediksi variabel keadaaan berdasarkan sistem dinamik, sedangkan tahap koreksi adalah berdasarkan data-data pengukuran dilakukan koreksi untuk memperbaiki hasil estimasi.

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai tahap-tahap penggunaan Filter Kalman, akan terlebih dahuilu dibahas mengenai mean dan kovarian, baik dari data pengukuran maupun dari model dinamik yang akan digunakan pada tahap prediksi dan koreksi pada Algoritma Flter Kalman.

Jika x_0 tidak diketahui, dan yang diketahui hanyalah distribusinya saja yaitu $\hat{x}_0 = \bar{x}_0$, maka estimasi terbaik untuk variabel keadaan x_k yang tidak diketahui adalah mean $\bar{x}_k$ yang didapatkan secara rekursif. Maka mean dari variabel keadaan x_{k+1} adalah:

$$\begin{aligned}\bar{x}_{k+1} &= E(x_{k+1}) = E(Ax_k + Bu_k + Gw_k) \\ &= E(Ax_k) + E(Bu_k) + E(Gw_k) \\ &= AE(x_k) + Bu_k + GE(w_k)\end{aligned}$$

$$\bar{x}_{k+1} = A\bar{x}_k + Bu_k \tag{2.30}$$

Kovarian kesalahan dari x_k adalah:

$$\begin{aligned}Cov(\tilde{x}_k,\tilde{x}_k) &= E(\tilde{x}_k\tilde{x}_k^T) \\ &= E([x_k - \hat{x}_k][x_k - \hat{x}_k]^T) \\ &= E([x_k - \bar{x}_k][x_k - \bar{x}_k]^T)\end{aligned} \tag{2.31}$$

Sedang kovarian eror dari x_{k+1} adalah

$$\begin{aligned}Cov(\tilde{x}_{k+1},\tilde{x}_{k+1}) &= E(\tilde{x}_{k+1}\tilde{x}_{k+1}^T) = E([x_{k+1} - \bar{x}_{k+1}][x_{k+1} - \bar{x}_{k+1}]^T) \\ &= E((Ax_k + Bu_k + Gw_k - (A\bar{x}_k + Bu_k)) \\ &\qquad (Ax_k + Bu_k + Gw_k - (A\bar{x}_k + Bu_k))^T)\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&= E((Ax_k + Gw_k - A\bar{x}_k)(Ax_k + Gw_k - A\bar{x}_k)^T) \\
&= E((A(x_k - \bar{x}_k) + Gw_k)(A(x_k - \bar{x}_k) + Gw_k)^T) \\
&= E((A(x_k - \bar{x}_k) + Gw_k)((x_k - \bar{x}_k)^T A^T + w_k{}^T G^T)) \\
&= E(A(x_k - \bar{x}_k)(x_k - \bar{x}_k)^T A^T + A(x_k - \bar{x}_k)(w_k{}^T G^T) \\
&\quad + Gw_k(x_k - \bar{x}_k)^T A^T + Gw_k w_k{}^T G^T) \\
&= AE((x_k - \bar{x}_k)(x_k - \bar{x}_k)^T A^T) + AE((x_k - \bar{x}_k)(w_k{}^T G^T)) \\
&\quad + GE(w_k(x_k - \bar{x}_k)^T A^T) + GE(w_k w_k{}^T G^T)
\end{aligned}
$$

Karena w_k dan x_k tidak berkorelasi, maka didapat

$$
\begin{aligned}
E(\tilde{x}_{k+1}\tilde{x}_{k+1}{}^T) &= AE((x_k - \bar{x}_k)(x_k{}^T - \bar{x}_k{}^T)A^T) + 0 + 0 + GE(w_k w_k{}^T)G^T \\
&= AE((x_k - \bar{x}_k)(x_k{}^T - \bar{x}_k{}^T))A^T + GE(w_k w_k{}^T)G^T
\end{aligned}
$$

(2.32)

Jika $E(w_k w_k{}^T) = Q$, maka persamaan (2.32) dapat ditulis:

$$E(\tilde{x}_{k+1}\tilde{x}_{k+1}{}^T) = AE(\tilde{x}_k\tilde{x}_k{}^T)A^T + GQG^T \qquad (2.33)$$

Selanjutnya P_{x_k} dinyatakan sebagai kovariansi kesalahan estimasi pada waktu k dari x_k dan $P_{x_{k+1}}$ dinyatakan sebagai kovariansi kesalahan estimasi pada waktu $k+1$ dari x_k, sehingga $P_{x_k} = E(\tilde{x}_k\tilde{x}_k{}^T)$ dan $P_{x_{k+1}} = AP_{x_k}A^T + GQG^T$

Sedangkan mean dari z_k adalah:

$$
\begin{aligned}
\bar{z}_k = E(z_k) &= E(H_k x_k + y_k) \\
&= E(H_k x_k) + E(y_k) \\
&= H_k E(x_k) + E(y_k)
\end{aligned}
$$

karena $E(y_k)$ didapat

$$E(z_k) = H_k \bar{x}_k \qquad (2.34)$$

Sedangkan mean dari z_{k+1} adalah:

$$
\begin{aligned}
\bar{z}_{k+1} &= E(z_{k+1}) \\
&= E(H_{k+1}x_{k+1} + y_{k+1}) \\
&= H_{k+1}E(x_{k+1}) + E(y_{k+1})
\end{aligned}
$$

Karena $E(y_{k+1}) = 0$, maka

$$\bar{z}_{k+1} = H_{k+1}E(x_{k+1}) = H_{k+1}\bar{x}_{k+1} \tag{2.35}$$

Adapun kovarian dari pengukuran pada waktu k adalah:

$$\begin{aligned}
P_{z_k} &= E([z_k - E(z_k)][z_k - E(z_k)]^T) \\
&= E([H_k x_k + y_k - H_k E(x_k)][H_k x_k + y_k - H_k E(x_k)]^T) \\
&= E([H_k(x_k - E(x_k)) + y_k][H_k(x_k - E(x_k)) + y_k]^T) \\
&= E([H_k(x_k - E(x_k)) + y_k][(x_k - E(x_k))^T H_k^T) + y_k^T]) \\
&= E((H_k(x_k - E(x_k))(x_k - E(x_k))^T H_k^T) + H_k(x_k - E(x_k))y_k^T) \\
&\quad + y_k(x_k - E(x_k))^T H_k^T + y_k y_k^T) \\
&= H_k E((x_k - E(x_k))(x_k - E(x_k))^T H_k^T)) + H_k E((x_k - E(x_k))y_k^T) \\
&\quad + E(y_k(x_k - E(x_k))^T H_k^T) + E(y_k y_k^T)) \\
P_{z_k} &= H_k P_{x_k} H_k^T + H_k P_{x_k y_k} + P_{y_k x_k} H_k^T + R_k
\end{aligned}$$

Karena y_k dan x_k tidak berkorelasi, maka

$$P_{z_k} = H_k P_{x_k} H_k^T + 0 + 0 + R_k$$

$$P_{z_k} = H_k P_{x_k} H_k^T + R_k$$

Sedangkan kovarian dari pengukuran pada waktu *k+1* adalah:

$$\begin{aligned}
P_{z_{k+1}} &= E([z_{k+1} - E(z_{k+1})][z_{k+1} - E(z_{k+1})]^T) \\
&= E([H_{k+1}x_{k+1} + y_{k+1} - H_{k+1}E(x_{k+1})][H_{k+1}x_{k+1} + y_{k+1} - H_{k+1}E(x_{k+1})]^T) \\
&= E([H_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1})) + y_{k+1}][H_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1})) + y_{k+1}]^T) \\
&= E([H_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1})) + y_{k+1}][(x_{k+1} - E(x_{k+1}))^T H_{k+1}^T) + y_{k+1}^T]) \\
&= E((H_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1}))(x_{k+1} - E(x_{k+1}))^T H_{k+1}^T) + H_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1})) \\
&\quad y_{k+1}^T) + y_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1}))^T H_{k+1}^T + y_{k+1}y_{k+1}^T) \\
&= H_{k+1}E((x_{k+1} - E(x_{k+1}))(x_{k+1} - E(x_{k+1}))^T H_{k+1}^T)) + H_{k+1}E((x_{k+1} - E(x_{k+1})) \\
&\quad y_{k+1}^T) + E(y_{k+1}(x_{k+1} - E(x_{k+1}))^T H_{k+1}^T) + E(y_{k+1}y_{k+1}^T)) \\
&= H_{k+1}P_{x_{k+1}}H_{k+1}^T + 0 + 0 + R_{k+1}
\end{aligned}$$

$$P_{z_{k+1}} = H_{k+1}P_{x_{k+1}}H_{k+1}^T + R_{k+1} \tag{2.37}$$

2.7.1 Algoritma Filter Kalman

Misalkan pada waktu *k=0* diberikan keadaan awal $\hat{x}_0 = \bar{x}_0$ dengan kovarian $P_0 = P_{x_0}$ dan diasumsikan tidak ada pengukuran z_0 pada waktu *k=0*, mak estimasi untuk $k \geq 1$ dapat diperoleh berdasarkan algoritma Filter Kalman.

Algoritma pada Filter Kalman secara lengkap dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Tahap prediksi *(Time Update)*

Estimasi :

$$\hat{x}_{k+1}(-) = A\hat{x}_k + Bu_k \tag{2.38}$$

$$P_{k+1}(-) = AP_kA^T + GQG^T \tag{2.39}$$

2. Tahap koreksi *(Measurement Update)*

Kalman Gain:

$$K_{k+1} = P_{k+1}(-)H_{k+1}^{\ T}(H_{k+1}P_{k+1}(-)H_{k+1}^{\ T} + R_{k+1})^{-1} \tag{2.40}$$

Estimasi :

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}(-) + K_{k+1}[z_{k+1} - H_{k+1}\hat{x}_{k+1}(-)] \tag{2.41}$$

Kovarian Error :

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1}H_{k+1})P_{k+1}(-) \tag{2.42}$$

Pada Filter Kalman, hasil analisis yang diberikan oleh kovarian error menentukan P_{k+1} menjadi informasi awal pada analisis berikutnya.

2.8 *Extended Kalman Filter*

Metode *Kalman Filter* yang menggabungkan data pengukuran dan model prediksi hanya bisa digunakan untuk sistem diskrit linier, sedangkan pada keadaan yang sesungguhnya, seringkali ditemukan sistem dinamik kontinu dan sistem dinamik yang tidak linier. Untuk sistem semacam ini, *Kalman Filter* tidak bisa diterapkan secara langsung. Oleh karena itu diperlukan pendekatan lain yang merupakan perluasan dari Filter Kalman yaitu *Extended Kalman Filter*. *Extended Kalman Filter* dapat digunakan untuk sistem yang tak linier dan juga kontinu. Dalam *Extended Kalman Filter* sistem semacam ini perlu dilakukan linierisasi (apabila sistem tidak linier), pendiskritan sistem (apabila sistem kontinu), dan beberapa tahapan lain.

Apabila sebuah sistem mempunyai model pengukuran yang tidak linier, maka model pengukuran tersebut memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$z_k = h(x(t_k), k) + y_k \tag{2.43}$$

dimana

z_k	=	vektor keluaran atau pengukuran
y_k	=	*white noise* pada sistem yang merupakan besaran stokastik pada waktu t yang mempunyai mean nol dan variansi $Q(t)\delta(t-\tau)$, atau dapat ditulis $E\{w(t)\}=0$ $E\{w(t)w^T(\tau)\}=Q(t)\delta(t-\tau)$ Dengan $\delta(t) = \begin{cases} 1 & \text{untuk t = 0} \\ 0 & \text{untuk t yang lain} \end{cases}$
$h(x(t_k),k)$		merupakan matriks yang mempengaruhi pengukuran yang berdimensi bersesuaian.

Persamaan (2.43) adalah bentuk persamaan diskrit tak linier, sehingga digunakan *Extended Kalman Filter* dan bentuk tersebut harus dilinierisasi. Model pengukuran dapat dilinierisasi dengan mendefinisikan:

$$\bar{z}_k = h(\bar{x}(t_k), k) \tag{2.44}$$

Karena $h(x(t_k), k)$ tak linier maka akan dilakukan pelinieran dengan cara menderetkan taylor $h(x_k)$, dengan $\bar{x}_k$ adalah estimasi awal pada waktu t_k :

$$h(x_k) = h(\bar{x}_k) + \left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_{x=\bar{x}_k} (x_k - \bar{x}_k) + \cdots \tag{2.45}$$

Jika dari Persamaan (2.45) hanya diambil orde pertama dari deret taylor dan $\tilde{x}_k = x_k - \bar{x}_k$ dan $\tilde{z}_k = z_k - \bar{z}_k$, maka Persamaan (2.45) menjadi

$$h(x(t_k),k) \approx h(\bar{x}(t_k),k) + \left.\frac{\partial h(x,k)}{\partial x}\right|_{x=\bar{x}_k} \tilde{x}_k \quad (2.46)$$

Dengan Jacobian:

$$H(x_k) = \left.\frac{\partial h(x,k)}{\partial x}\right|_{x=\bar{x}_k} \quad (2.47)$$

Sehingga Persamaan (2.46) menjadi

$$h(x(t_k),k) = h(\bar{x}(t_k),k) + H(x_k)\,\tilde{x}_k \quad (2.48)$$

Sehingga dari persamaan (2.48)

$$\begin{aligned} \tilde{z}_k &= z_k - \bar{z}_k \\ &= h(x(t_k),k) + y_k - h(\bar{x}(t_k),k) \\ &= h(\bar{x}(t_k),k) + H(x_k)\,\tilde{x}_k + y_k - h(\bar{x}(t_k),k) \\ \tilde{z}_k &= H(x_k) \end{aligned} \quad (2.49)$$

Persamaan (2.49) adalah persamaan diskrit linier.

BAB III
METODE PENELITIAN

BAB III
METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah yang digunakan dalam mengestimasi harga *a call on a all compound option* tipe Eropa. Adapun Metode Penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

3.1 Langkah Pengerjaan

1. Studi Literatur

   Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan penguraikaan teori-teori pendukung yang menunjang, yaitu mengenai *option*, *compound option*, distribusi normal *univariate* dan *bivariate* serta lognormal, *transition density function* dan Filter Kalman dengan pendekatan tak linier (*Extended Kalman Filter*)

2. Mengkaji Formula Black-Scholes

   Pada tahap ini dikaji mengenai perluasan formula Black-Scholes untuk mendapatkan harga *a call on a call compound option*.

3. Pengambilan Data Simulasi meliputi:

   a. Harga Saham

      Data harga saham dibangkitkan dari Matlab (dikarenakan cmarket diperoleh dengan bangkitan). Nilai dari harga saham awal ditentukan, yaitu $S_0 = 80$ dan perubahan harga sahamnya berdistribusi normal.

   b. *Market Compound Option Price*

      Data *Market Compound Option Price* atau yang dikenal sebagai cmarket yang tidak lain merupakan *harga a call on a call compound option* dibangkitkan dari Matlab (dikarenakan tidak didapatkan data cmarket di lapangan) dengan memasukkan harga saham yang telah diperoleh dari hasil pembangkitan data dengan volatilitas *GARCH(1,1)* yang diberi noise.

c. Suku Bunga

Suku bunga (r) yang digunakan adalah konstan dan ditentukan nilainya, yaitu 5% atau 0.05.

d. Tanggal Jatuh Tempo (*Maturity Date*)

Maturity date dianggap konstan, *Maturity date* pertama konstan tiga bulanan dan *Maturity date* kedua konstan enam bulanan, yaitu $T_1 = \frac{3}{12} = 0.25$ dan $T_2 = \frac{6}{12} = 0.5$. *Present time* pada hari ke-6 setelah bulan pertama, yaitu $t = \frac{36}{360} = 0.1$.

e. Strike Price

A call on a call compound option yang diestimasi dalam tugas akhir ini adalah option yang bersifat *in the money*. Dalam hal ini *Strike Price* pertama, *Strike Price* kedua, dan harga saham pada saat T_1 ditentukan nilainya, yaitu $X_1 = 1$, $X_2 = 76$ dan $X = 77$.

4. Estimasi Harga *A Call on A Call Compound Option* Tipe Eropa Menggunakan Metode *Extended Kalman Filter*.

a. Menentukan model sistem dan model pengukuran

Model dinamik yang digunakan adalah model *GARCH(1,1)* (Persamaan 2.26) dan model pengukuran yang digunakan adalah *formula Black Scholes* untuk *a call on a call compound option* (Persamaan 2.24).

b. Menentukan parameter α, β, ω pada model sistem dengan menggunakan *Maximum Likelihood Method* menggunakan Matlab.

c. Menentukan Algoritma Filter Kalman
Pada tahap ini akan ditentukan mean dan kovarian *error* yang dibutuhkan dalam tahap prediksi dan tahap koreksi

i. Estimasi tahap prediksi
Pada tahap ini ditentukan mean dan kovarian *error* pada tahap prediksi.

ii. Menentukan *Kalman Gain*
Pada tahap ini akan dicari *kalman gain* yang akan digunakan pada tahap koreksi

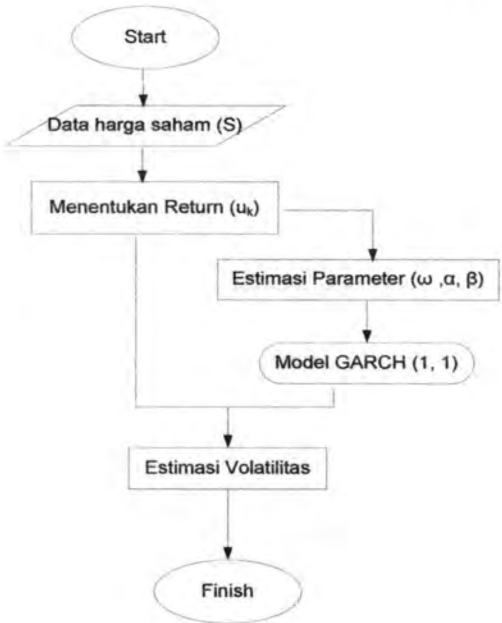
iii. Estimasi tahap koreksi
Pada tahap ini ditentukan mean dan kovarian *error* pada tahap koreksi.

5. Mengestimasi harga a *call on a call compound option*
Pada tahap ini harga *A call on a call compound option* diestimasi dari persamaan *Black-Scholes*(2.24).

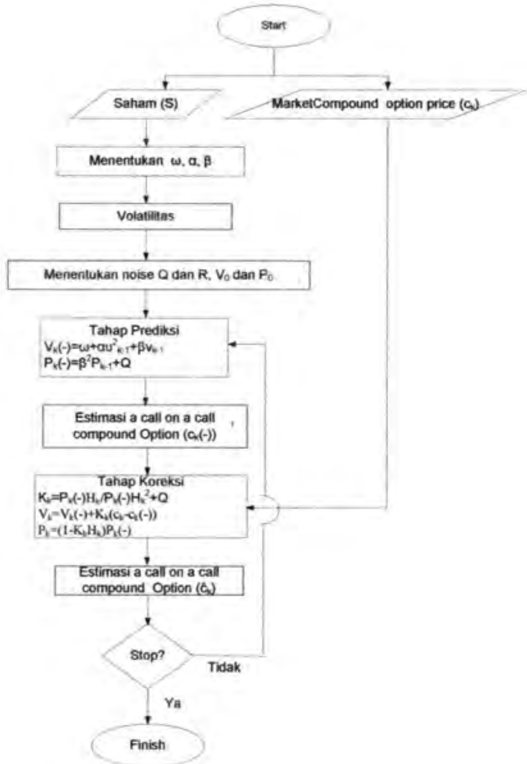
6. Penarikan Kesimpulan

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir estimasi *volatilitas* dengan model *GARCH(1,1)* ditunjukkan pada Gambar 3.1, sedangkan diagram alir estimasi a *call on a call compound option* dengan *Extended Kalman Filter* ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1
Diagram Alir Estimasi V*olatilitas d*engan *GARCH(1,1)*



Gambar 3.2
Diagram Alir Estimasi *A Call On A Call Compound Option* dengan *Extended Kalman Filter*

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Compound option merupakan salah satu modifikasi dari *option*. Salah satu tipe dari *compound option* adalah *a call on a call compound option*. Harga *a call on a call compound option* diperoleh dari perluasan Formula *Black Scholes*.

Untuk mengestimasi harga *a call on a call compound option* dengan menggunakan perluasan Formula *Black Scholes*, yang perlu dilakukan adalah estimasi volatilitas. Estimasi volatilitas ini dilakukan dengan menggunakan model *GARCH(1,1)*. Selanjutnya dilakukan estimasi dengan menggunakan Metode *Garch(1,1)* dan juga Metode Filter Kalman. Metode Filter Kalman menggabungkan model dinamik dan model pengukuran. Dalam Tugas Akhir ini model dinamik yang digunakan adalah *GARCH* (1,1) dan model pengukurannya adalah harga *a all on a call compound opton*, dalam hal ini diperoleh dari perluasan model *Black Scholes*. Karena model pengukurannya tak linier, maka digunakan *Extended Kalman Filter* yang merupakan perluasan dari Filter Kalman.

4.1 Formula Harga *A Call On A Call Compound Option*

$c(S,t)$ dan $\tilde{c}(S_{T_1},T_1)$ didefinisikan sebagai harga *a call on a call compound option* dan *call option*, yang mana S merupakan harga saham pada saat t dan S_{T_1} harga saham pada saat T_1. *A call on a call compound option* akan di*exercise* pada saat T_1 jika $\tilde{c}(S_{T_1},T_1)>X_1$.

Formula Black Scholes untuk *call option* tipe Eropa adalah

$$\tilde{c}(S_{T_1},T_1)=S_{T_1}N(d_1)-X_2e^{-r(T_2-T_1)}N(d_2) \qquad (4.1)$$

Dengan

$$d_1 = \ln \frac{S_{T_1}}{X_2} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) (T_2 - T_1)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T_2 - T_1}$$

A call on a call compound option di*exercise* pada saat T_1, maka didefinisikan sebagai berikut:

$$\tilde{c}(X, T_1) = X_1 \tag{4.2}$$

Berdasarkan persamaan (4.2) S_{T_1} dinotasikan sebagai X.

Fungsi *payoff* dari *a call on a call compound option* pada saat T_1 adalah

$$c(S_{T_1}, T_1) = \max(\tilde{c}(S_{T_1}, T_1) - X_1, 0) \tag{4.3}$$

Dengan menggunakan *discounted expectation* pada persamaan (2.23), harga *a call on a call compound option* untuk $t < T_1$ didapatkan sebagai berikut:

$$c(S,t) = e^{-r(T_1 - t)} E\left(\max\left(\tilde{c}\left(S_{T_1}, T_1\right) - X_1\right), 0\right)$$

$$= e^{-r(T_1 - t)} \int_0^\infty \max\left(\tilde{c}\left(S_{T_1}, T_1\right) - X_1, 0\right) \psi\left(S_{T_1}; S\right) dS_{T_1}$$

$$= e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty \left(\left(S_{T_1} N(d_1) - X_2 e^{-r(T_2 - T_1)} N(d_2)\right) - X_1\right) \psi\left(S_{T_1}; S\right) dS_{T_1}$$

$$= e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty S_{T_1} N(d_1) \psi(S_{T_1}; S) dS_{T_1} - e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty X_2 e^{-r(T_2 - T_1)} N(d_2)$$

$$\psi(S_{T_1}; S) dS_{T_1} - e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty X_1 \psi(S_{T_1}; S)\, dS_{T_1} \tag{4.4}$$

Persamaan (4.4) diuraikan menjadi bagian pertama $c_1(S,t)$, bagian kedua $c_2(S,t)$, dan bagian ketiga $c_3(S,t)$. Bagian pertama dari persamaan (4.4) diuraikan sebagai berikut:

$$c_1(S,t) = e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty S_{T_1} N(d_1) \psi\left(S_{T_1}; S\right) dS_{T_1}$$

$$= e^{-r(T_1 - t)} \int_X^\infty \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{d_2} e^{-t^2/2}\, dt S_{T_1} \psi\left(S_{T_1}; S\right) dS_{T_1} \tag{4.5}$$

Jika dimisalkan:

$$t=\frac{y-\ln S_{T_2}+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-T_1)}{\sigma\sqrt{(T_2-T_1)}}\text{, maka } dt=\frac{-1}{S_{T_2}\sigma\sqrt{(T_2-T_1)}}dS_{T_2}.$$

Persamaan (4.5) menjadi sebagai berikut:

$$c_1(S,t)=e^{-r(T_1-t)}\int_{k}^{\infty}\int_{k_2}^{\infty}S_{T_1}\frac{1}{S_{T_2}}\exp\left(-\frac{\left(y-\ln S_{T_2}+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-T_1)\right)^2}{2\sigma^2(T_2-T_1)}\right)$$

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_2-T_1)}_{T_1}}\psi\left(S_{T_1};S\right)dS_{T_2}\,dS_{T_1}$$

$$=e^{-r(T_1-t)}\int_{k}^{\infty}\int_{k_2}^{\infty}S_{T_1}\frac{1}{S_{T_2}}\exp\left(-\frac{\left((-1)\left(\left(\ln S_{T_2}-y\right)-\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-T_1)\right)\right)^2}{2\sigma^2(T_2-T_1)}\right)$$

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_2-T_1)}}\psi\left(S_{T_1};S\right)dS_{T_2}\,dS_{T_1}$$

$$=e^{-r(T_1-t)}\int_{k}^{\infty}\int_{k_2}^{\infty}S_{T_1}\frac{1}{S_{T_2}}\exp\left(\frac{\left(\left(\ln S_{T_2}-y\right)-\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-T_1)\right)^2}{2\sigma^2(T_2-T_1)}\right)$$

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_2-T_1)}}\psi\left(S_{T_1};S\right)dS_{T_2}\,dS_{T_1}$$

$$= e^{-r(T_1-t)} \int_K^\infty \int_{K_2}^\infty S_{T_1} \frac{1}{S_{T_2}} \exp\left(- \frac{\left((\ln S_{T_2} - y) - \left(r - \frac{\sigma^2}{2} + \sigma^2 \right) (T_2 - T_1) \right)^2}{2\,\sigma^2 \,(T_2 - T_1)} \right)$$

$$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi \left(T_2 - T_1 \right)}} \psi\left(S_{T_1} ; S \right) dS_{T_2}\, dS_{T_1} \qquad (4.6)$$

Dengan mensubstitusikan *transition density function* pada Persamaan (2.20) maka persamaan (4.6) menjadi:

$$c_1(S,t) = e^{-r(T_1-t)} \int_K^\infty \int_{K_2}^\infty S_{T_1} \frac{1}{S_{T_1}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}} \exp\left(- \frac{\left(\ln S_{T_1} - \left(\ln S + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_1 - t) \right) \right)^2}{2\sigma^2 (T_1 - t)} \right)$$

$$\frac{1}{S_{T_2}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_2-T_1)}} \exp\left(- \frac{\left((\ln S_{T_2} - y) - \left(r - \frac{\sigma^2}{2} + \sigma^2 \right) (T_2 - T_1) \right)^2}{2\sigma^2 (T_2 - T_1)} \right) dS_{T_2}\, dS_{T_1}$$

$$\text{.......}(4.7)$$

Persamaan (4.7) diuraikan menjadi sebagai berikut:

$$c_1(S,t) = e^{-r(T_1-t)} \int_K^\infty \int_{K_2}^\infty \frac{1}{2\pi\sigma^2} \frac{1}{\sqrt{(T_1-t)\,(T_2 - t - (T_1 - t))}} \frac{1}{S_{T_2}} S \frac{1}{S_{T_1}} e^{r(T_1-t)}$$

$$\exp\left(- \left\{ \frac{\ln S_{T_2} - \left(\ln S + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_2 - t) \right)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}} \frac{\sqrt{T_1 - t}}{\sqrt{T_2 - t}} \frac{y - \left(\ln S + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_2 - t) \right)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}} \right\}^2 \right)$$

$$\exp\left(-\left\{\frac{\ln S_{T_2}-\left(\ln S+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}-\frac{\sqrt{T_1-t}}{\sqrt{T_2-t}}\frac{y-\left(\ln S+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}\right\}^2\right)$$

$$\exp\left(-\frac{1}{2\left(\frac{(T_2-t-(T_1-t))}{(T_2-t)}\right)}\right)\exp\left(-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln S_{T_1}-\left(\ln S+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}\right\}^2\right)$$

$$dS_{T_2}\ dS_{T_1} \tag{4.8}$$

Dengan mengambil $y = \ln S_{T_1}$ dan $x = \ln S_{T_2}$, sehingga $dx = \frac{1}{S_{T_2}} dS_{T_2}$ dan $dy = \frac{1}{S_{T_1}} dS_{T_1}$. Dimana pada saat T_2 harga saham di pasar ádalah X_2. Persamaan (4.8) menjadi sebagai berikut:

$$c_1(S,t) = S \int_{\ln X}^{\infty} \int_{\ln X_2}^{\infty} \frac{1}{\sigma^2 2\pi} \frac{1}{\sqrt{(T_1 - t)(T_2 - t)\left(1 - \frac{(T_1 - t)}{(T_2 - t)}\right)}}$$

$$\exp\left(- \frac{\left\{ \frac{x - \left(\ln S + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_2 - t) \right)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}} - \frac{\sqrt{T_1 - t}}{\sqrt{T_2 - t}} \frac{y - \left(\ln S + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_2 - t) \right)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}} \right\}^2}{2\left(\frac{(T_2 - t - (T_1 - t))}{(T_2 - t)} \right)} \right)$$

$$\exp\left(- \frac{1}{2} \left\{ \frac{y - \left(\ln S + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_1 - t) \right)^2}{\sigma\sqrt{T_1 - t}} \right\}^2 \right) dx\, dy$$

......(4.9)

Jika $\tilde{y}=\dfrac{y-\left(\ln S+\left(r+\dfrac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}$, $\tilde{x}=\dfrac{x-\left(\ln S+\left(r+\dfrac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}$

dan juga $\rho=\sqrt{\dfrac{T_1-t}{T_2-t}}$, maka $\dfrac{d\tilde{y}}{dy}=\dfrac{1}{\sigma\sqrt{T_1-t}}$ dan $\dfrac{d\tilde{x}}{dx}=\dfrac{1}{\sigma\sqrt{T_2-t}}$.

Sehingga persamaaan (4.9) menjadi sebagai berikut:

$$c_1(S,t)=S\int_{-\infty}^{a_1}\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\left(\frac{(\tilde{x}-\rho\tilde{y})^2}{2(1-\rho^2)}+\frac{\tilde{y}^2}{2}\right)\right)d\tilde{x}\,d\tilde{y}$$

$$=S\int_{-\infty}^{a_1}\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\left(\frac{\tilde{x}^2-2\rho\tilde{x}\tilde{y}+\rho^2\tilde{y}^2+\tilde{y}^2-\rho^2\tilde{y}^2}{2(1-\rho^2)}\right)\right)d\tilde{x}\,d\tilde{y}$$

$$=S\int_{-\infty}^{a_1}\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\left(\frac{\tilde{x}^2-2\rho\tilde{x}\tilde{y}+\tilde{y}^2}{2(1-\rho^2)}\right)\right)d\tilde{x}\,d\tilde{y}$$

.......(4.10)

Dengan

$$a_1=\frac{\ln\dfrac{S}{X}+\left(r+\dfrac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}$$

$$b_1=\frac{\ln\dfrac{S}{X_2}+\left(r+\dfrac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}$$

Berdasarkan CDF Distribusi Normal *bivariate* pada persamaan (2.19), maka penyelesaian persamaan (4.10) adalah sebagai berikut:

$c_1(S,t)=SN_2(a_1,b_1;\rho)$

Sehingga penyelesaian bagian pertama persamaan (4.4) sebagai berikut:

$$c_1(S,t)=SN_2(a_1,b_1;\rho) \qquad (4.11)$$

$N_2(a_1, b_1; \rho)$ merupakan fungsi distribusi normal standard *bivariate* dengan korelasi ρ.

Dengan memisalkan $x = \ln S_{T_2}$ dan $y = \ln S_{T_1}$. Bagian Kedua dari persamaan (4.4) diuraikan sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
c_2(S,t) &= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_X^\infty N(d_2)\, \psi(S_{T_1}; S)\, dS_{T_1} \\
&= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_X^\infty \int_{X_2}^\infty \psi(S_{T_2}; S_{T_1})\, \psi(S_{T_1}; S)\, dS_{T_2}\, dS_{T_1} \\
&= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{\ln X}^\infty \int_{\ln X_2}^\infty \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_2-T_1)}} \\
&\quad \exp\left(\frac{-\left(y - \left(\ln S + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right)(T_1 - t) \right) \right)^2}{2\sigma^2 (T_1 - t)} \right) \\
&\quad \exp\left(\frac{-\left(x - \left(y + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right)((T_2 - T_1)) \right) \right)^2}{2\sigma^2 (T_2 - T_1)} \right) dx\, dy
\end{aligned}
\tag{4.12}
$$

Dengan cara yang sama seperti mendapatkan persamaan (4.8). Persamaan (4.12) menjadi sebagai berikut:

$$c_2(S,t) = -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{\ln X}^{\infty}\int_{\ln X_2}^{\infty} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sigma^2}\frac{1}{\sqrt{(T_1-t)(T_2-t)-(T_1-t)(T_1-t)}}$$

$$\exp\left(-\left\{\left[\frac{\left(x-\left(\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)\right)\right)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}-\sqrt{\frac{T_1-t}{T_2-t}}\frac{\left(y-\left(\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)\right)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}\right]^2\right\}\right)$$

$$\exp\left(-\frac{1}{2\left(\frac{(T_2-t-(T_1-t))}{(T_2-t)}\right)}\right)\exp\left(\frac{-\left(y-\left(\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)\right)^2}{2\sigma^2(T_1-t)}\right)dx\,dy$$

......(4.13)

Jika dimisalkan:

$y' = \dfrac{y-\left(\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}}$, $x' = \dfrac{x-\left(\ln S+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)\right)}{\sigma\sqrt{(T_2-t)}}$, dan $\rho = \sqrt{\dfrac{T_1-t}{T_2-t}}$, maka didapatkan $dy' = \dfrac{1}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}}dy$, $dx' = \dfrac{1}{\sigma\sqrt{(T_2-t)}}dx$ dan $\rho^2 = \dfrac{T_1-t}{T_2-t}\dfrac{T_1-t}{T_1-t}$.

Persamaan (4.13) menjadi:

$$c_2(S,t) = -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{a_2}^{\infty}\int_{b_2}^{\infty} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sigma^2}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}\frac{1}{\sqrt{(T_1-t)(T_2-t)}}$$

$$\exp\left(-\left(\frac{(x'^2-\rho y')^2}{2(1-\rho^2)}+\frac{y'^2}{2}\right)\right)\left(\sigma\sqrt{T_1-t}\right)\left(\sigma\sqrt{T_2-t}\ \right)dx'\,dy'$$

$$= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{-\infty}^{b_2}\int_{-\infty}^{a_2} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\left(\frac{(x'^2-\rho y')^2}{2(1-\rho^2)}+\frac{y'^2}{2}\right)\right) dx' dy'$$

$$= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{-\infty}^{b_2}\int_{-\infty}^{a_2} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\left(\frac{x'^2-2\rho x' y'+\rho^2 y'^2+y'^2-\rho^2 y'^2}{2(1-\rho^2)}\right)\right) dx' dy'$$

$$= -X_2 e^{-r(T_2-t)} \int_{-\infty}^{b_2}\int_{-\infty}^{a_2} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\left(\frac{x'^2-2\rho x' y'+y'^2}{2(1-\rho^2)}\right)\right) dx' dy'$$

......(4.14)

Dengan

$$a_2 = \frac{\ln\frac{S}{X}+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)}{\sigma\sqrt{T_1-t}},\quad b_2 = \frac{\ln\frac{S}{X_2}+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}$$

Berdasarkan CDF Distribusi Normal *bivariate* pada persamaan (2.19), maka penyelesaian persamaan (4.14) sebagai berikut:

$$c_2(S,t) = -X_2 e^{-r(T_2-t)} N_2(a_2,b_2;\rho)$$

Sehingga penyelesaian bagian kedua persamaan (4.4) sebagai berikut:

$$c_2(S,t) = -X_2 e^{-r(T_2-t)} N_2(a_2,b_2;\rho) \qquad (4.15)$$

$N_2(a_2,b_2;\rho)$ merupakan fungsi distribusi normal standard *bivariate* dengan korelasi ρ.

Dengan mensubstitusikan *transition density function* pada persamaan (2.20). Bagian ketiga dari persamaan (4.4) diuraikan sebagai berikut:

$$c_3(S,t) = -X_1 e^{-r(T_1-t)} \int_{S^*}^{\infty} \psi(S_{T_1};S)\, dS_{T_1}$$

$$= -X_1 e^{-r(T_1-t)} \int_{S^*}^{\infty} \frac{1}{S_{T_1}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln S_{T_1} - \left(\ln S + \left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}\right)^2\right) dS_{T_1}$$

$$=-X_1e^{-r(T_1-t)}\int_X^{\infty}\frac{1}{S_{T_1}}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(-1)\left(\ln S-\ln S_{T_1}+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}}\right)^2\right)dS_{T_1}$$

......(4.16)

Berdasarkan persamaan (4.2) bahwa $S_{T_1}=X$, maka persamaan (4.16) menjadi sebagai berikut:

$$c_3(S,t)=-X_1e^{-r(T_1-t)}\int_X^{\infty}\frac{1}{X}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\left(\ln S-\ln X+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}}\right)^2\right)dX$$

.......(4.17)

Jika dimisalkan:

$$t=\frac{\left(\ln S-\ln X+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)\right)}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}},\quad \text{maka} \quad dt=-\frac{1}{X\sigma\sqrt{T_1-t}}dX\,.$$

Sehingga diperoleh $dX=-X\,\sigma\sqrt{T_1-t}\,dt$

Sehingga persamaan (4.17) menjadi sebagai berikut:

$$c_3(S,t)=-X_1e^{-r(T_1-t)}\int_{-\infty}^{X}\frac{1}{X}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(T_1-t)}}\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)(X\,\sigma\sqrt{T_1-t})\,dt$$

$$=-X_1e^{-r(T_1-t)}\int_{-\infty}^{X}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt \tag{4.18}$$

Berdasarkan persamaan (2.9) persamaan (4.18) dapat ditulis menjadi sebagai berikut:

$$c_3(S,t)=-X_1e^{-r(T_1-t)}N\left(\frac{\ln\frac{S}{X}+\left(r-\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)}{\sigma\sqrt{(T_1-t)}}\right)$$

$$=-X_1\,e^{-r(T_1-t)}\,N(a_2)$$

Sehingga penyelesaian bagian ketiga persamaan (4.4) sebagai berikut:

$$c_3(S,t) = -X_1\, e^{-r(T_1-t)}\, N(a_2) \qquad (4.19)$$

$N(a_2)$ merupakan fungsi distribusi normal standard *univariate* dengan a_2 didefinisikan sebagai berikut:

$$a_2 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1 - t)}{\sigma\sqrt{T_1 - t}}$$

Dari perluasan formula Black Scholes pada persamaan (4.4), didapatkan harga *a call on a call compound option*. Sehingga dengan mensubstitusikan penyelesaian persamaan (4.11), (4.15), dan (4.19) ke persamaan 4.4 didapatkan harga *call on a call compound option* sebagai berikut:

$$c(S,t) = S\,N_2(a_1, b_1;\rho) - X_2\, e^{-r(T_2-t)}\, N_2(a_2, b_2;\rho) - X_1\, e^{-r(T_1-t)}\, N(a_2) \qquad \ldots\ldots(4.20)$$

Dengan

$$a_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1 - t)}{\sigma\sqrt{T_1 - t}}, \quad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1 - t}$$

$$b_1 = \frac{\ln\frac{S}{X_2} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2 - t)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}}, \quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2 - t}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{T_1 - t}{T_2 - t}}$$

4.2 Estimasi *a call on a call compound option* dengan *GARCH(1,1)*

4.2.1 Estimasi Volatilitas *GARCH(1,1)*

Untuk mendapatkan harga *a call on call compound option* dengan menggunakan metode *GARCH(1,1)* sebelumnya terlebih dahulu harus diestimasi volatilitas dari harga saham. Volatilitas dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan (2.26), yaitu:

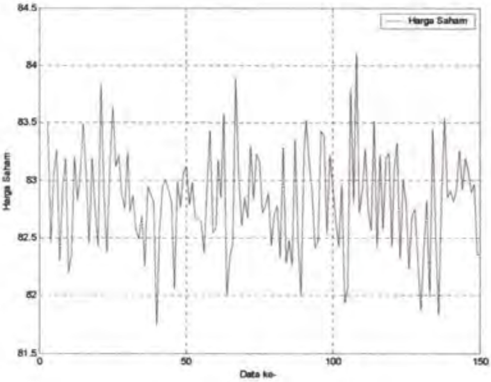
$$\sigma_k^2 = \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta\sigma_{k-1}^2 \tag{4.21}$$

σ^2 adalah varian dengan nilai awal $v_1 = v_2 = 0$ dan $v_3 = u_2^2$. Nilai parameter-parameter ω, α , β diperoleh dari *Maximum Likehood Estimation* dengan menggunakan Matlab.

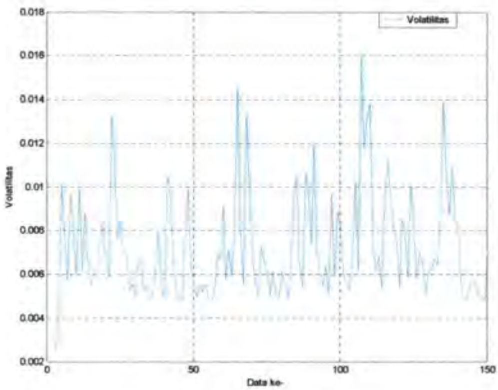
Tabel 4.1 Hasil Estimasi Parameter *GARCH(1,1)*

Variabel	Nilai Estimasi
Omega	0.000018050553249215 25
Alpha	0.512603651951957780 00
Beta	0.174935658821581190 00

Setelah diperoleh nilai ω, α dan β , selanjutnya diperoleh nilai estimasi volatilitas harga saham sesuai persamaan (4.21). Plot harga saham dan hasil estimasi volatilitas harga saham ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



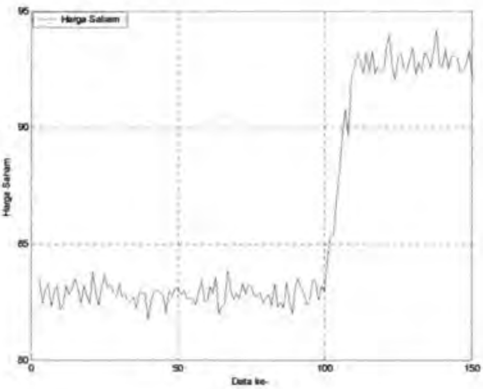
Gambar 4.1
Plot Harga Saham Tanpa Gangguan
Sumber : Diolah sendiri menggunakan Matlab dengan X_0=80.



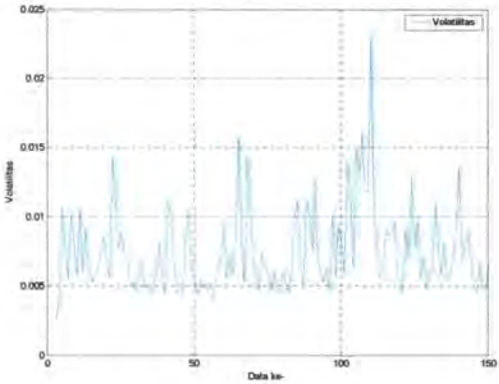
Gambar 4.2
Estimasi Volatilitas pada Harga Saham Tanpa Gangguan

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa semakin besar naik turunnya harga saham, mengakibatkan nilai volatilitasnya juga semakin besar. Untuk data ke 64-68 naik turunnya harga saham relatif besar sehingga, mengakibatkan volatilitas semakin besar. Untuk data ke 50-56, 147-149 menunjukkan naik turunnya harga saham relatif kecil, sehingga volatilitasnya juga kecil.

Hasil estimasi volatilitas jika data harga saham ke 101-150 diberi gangguan, dalam arti harga saham naik ditunjukkan pada Gambar 4.4. Plot Harga saham yang mengalami gangguan ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3
Plot Harga Saham dengan Gangguan
Sumber :
Diolah sendiri menggunakan Matlab, gangguan diberikan dengan rata-rata harga saham = 84 (data ke 101-110) dan rata-rata harga saham = 90 (Data ke-111-150)



Gambar 4.4
Estimasi Volatilitas pada Harga Saham dengan Gangguan

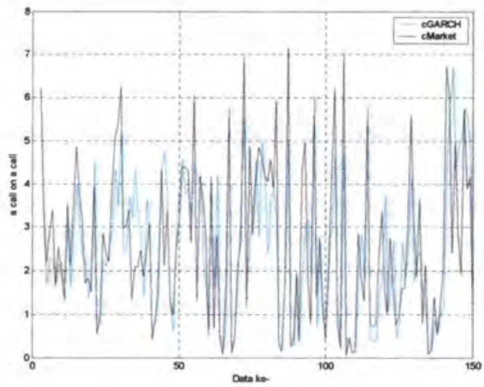
Pada data ke 101-111 perubahan harga saham relatif besar, sehingga volatilitasnya juga semakin besar.

4.2.2 Estimasi Harga *A Call On A Call Compound Option* Dengan GARCH(1,1)

Harga *a call on call compound option* berdasarkan persamaan (2.24) sebagai berikut:

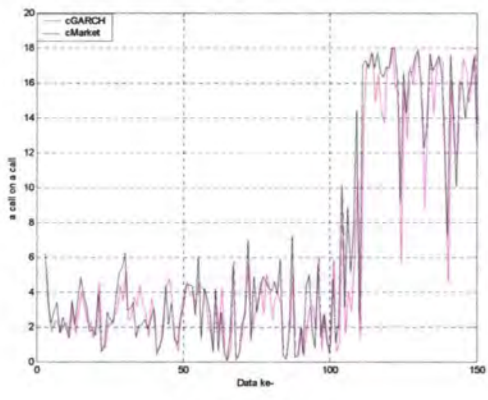
$$c(S,t) = S\,N_2(a_1,b_1;\rho) - X_2 e^{-r(T_2-t)} N_2(a_2,b_2;\rho) - X_1 e^{-r(T_1-t)} N(a_2)$$

Estimasi harga *a call on call compound option* dilakukan dengan menggunakan Matlab, dengan volatilitas yang telah diperoleh sebelumnya. Dengan memasukkan *strike price* pertama (X_1) = 1, *strike price* kedua(X_2) = 76, nilai kritis harga saham pada saat T_1 (X) = 77, suku bunga (r) = 0.05, *maturity date* pertama $(T_1) = \frac{3}{12} = 0.25$, *maturity date* kedua $(T_2) = \frac{6}{12} = 0.5$ dan *present time*nya pada hari keenam setelah bulan pertama *(t)* $= \frac{36}{360} = 0.1$. Hasil estimasi harga *a call on call compound option* ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5
Estimasi A *Call On A Call Compound Option* dengan *Garch(1,1)* pada Harga Saham Tanpa Gangguan

Jika pada data harga saham ke 101-150 diberi gangguan, maka diperoleh hasil estimasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6
Estimasi A *Call On A Call Compound Option* dengan *Garch(1,1)* pada Harga Saham dengan Gangguan

Dari Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa harga *compound option price* tidak mendekati *market compound option price*.

4.3 Estimasi *A Call On A Call Compound Option* Dengan *Extended kalman Filter*

Pada sub bab ini akan diuraikan mengenai estimasi *a call on a call compound option* dengan menggunakan Metode *Extended Kalman Filter*. Untuk mendapatkan harga *a call on a call compound option* dengan menggunakan Metode *Extended Kalman Filter*, dibutuhkan volatilitas dan juga *market compound option price*. *Market compound option price*nya adalah harga *a call on a call compound option*.

4.3.1 Model Dinamik dan Model Pengukuran

Algoritma Filter Kalman membutuhkan dua model yaitu model dinamik dan model pengukuran. Model dinamik dalam Tugas Akhir ini adalah model *GARCH* (1,1) pada persamaan (4.21). Sedangkan model pengukurannya adalah harga *a call on a call compound option*. Dapat ditulis sebagai berikut :

Model dinamik:

$$v_k = \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta v_{k-1}^2 + w_k \qquad (4.22)$$

Model pengukuran:

$$c_k = BS_k(v_k) + y_k \qquad (4.23)$$

Dengan

v_{k+1} = Variabel keadaan pada waktu *k+1*

v_k = Variabel keadaan pada waktu *k*

u_k = Vektor masukan deterministik pada waktu *k*

ω = Omega(Parameter *GARCH (1,1)*)

α = Alpha(Parameter *GARCH (1,1)*)

β = Beta(Parameter *GARCH (1,1)*)

w_k = Noise pada sistem berdimensi $m \times 1$ dengan mean nol dan kovarian yang diketahui, yaitu Q, atau ditulis

$E\{w_k\}=0$

$Cov\{w_k, w_k\}=E(w_k w_k^T)=Q$

c_k = Vektor pengukuran yang berupa data *market compound option price*.

y_k = Noise berdimensi $l \times 1$ pada pengukuran dengan mean nol dan kovarian R, atau ditulis

$E\{y_k\}=0$

$Cov\{y_k, y_k\}=E(y_k y_k^T)=R$

$BS_k(v_k)$ = Model yang berasal dari perluasan formula Black-Scholes pada persamaan (2.24), yaitu:

$$c(S,t)=S\,N_2(a_1,b_1;\rho)-X_2\,e^{-r(T_2-t)}\,N_2(a_2,b_2;\rho)-X_1 e^{-r(T_1-t)}\,N(a_2)$$

Dengan

$$a_1=\frac{\ln\frac{S}{X}+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1-t)}{\sigma\sqrt{T_1-t}}, \quad a_2=a_1-\sigma\sqrt{T_1-t}$$

$$b_1=\frac{\ln\frac{S}{X_2}+\left(r+\frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2-t)}{\sigma\sqrt{T_2-t}}, \quad b_2=b_1-\sigma\sqrt{T_2-t}$$

$$\rho=\sqrt{\frac{T_1-t}{T_2-t}}$$

4.3.2 Algoritma *Extended Kalman Filter*

a. Tahap Prediksi

Variabel keadaan pada tahap prediksi diperbarui dari persamaan model dinamik (4.21). Model dinamik yang sudah ada digunakan untuk memprediksi estimasi baru v_k yang juga berdistribusi normal. Mean v_k untuk tahap prediksi diperbarui menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E(v_k) &= E(\omega+\alpha u_{k-1}^2+\beta v_{k-1}+w_k) \\ &= \omega+\alpha u_{k-1}^2+\beta E(v_{k-1})+E(w_k) \end{aligned}$$

$$= \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta E(v_{k-1})$$

Sedangkan kovarian dari v_k adalah

$$\begin{aligned}
\operatorname{cov}(\tilde{v}_k, \tilde{v}_k) &= E[(v_k - E(v_k))(v_k - E(v_k))^T] \\
&= E[(\omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta v_{k-1} + w_k) - (\omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta E(v_{k-1})) \\
&\quad ((\omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta v_{k-1} + w_k) - (\omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta E(v_{k-1})))^T] \\
&= E[(\beta v_{k-1} + w_k - \beta E(v_{k-1}))(\beta v_{k-1} + w_k - \beta E(v_{k-1}))^T] \\
&= E[(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1})) + w_k)(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1})) + w_k)^T] \\
&= E[(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1})) + w_k)(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T + w_k^T)] \\
&= E[(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1})) + w_k)((v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T \beta^T + w_k^T)] \\
&\quad + w_k(v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T \beta^T + w_k w_k^T \\
&= E[(\beta(v_{k-1} - E(v_{k-1}))(v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T \beta^T) + \beta(v_{k-1} - E(v_{k-1}))w_k^T
\end{aligned}$$

Karena β adalah konstan, maka

$$\begin{aligned}
\operatorname{cov}(\tilde{v}_k, \tilde{v}_k) &= \beta^2 E[(v_{k-1} - E(v_{k-1}))(v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T] + \beta E(v_{k-1} - E(v_{k-1}))w_k^T \\
&\quad + \beta E[w_k(v_{k-1} - E(v_{k-1}))^T] + E(w_k w_k^T)
\end{aligned}$$

Karena v_k, w_k tidak berkorelasi, maka

$$\operatorname{cov}(\tilde{v}_k, \tilde{v}_k) = \beta^2 \operatorname{cov}(v_{k-1}, v_{k-1}) + 0 + 0 + Q$$

Karena $\operatorname{cov}(\tilde{v}_k, \tilde{v}_k) = \operatorname{var}(v_k)$, maka dapat ditulis sebagai berikut:

$$\operatorname{var}(v_k) = \beta^2 P_{k-1} + Q$$

Selanjutnya apabila mean pada tahap prediksi ditulis sebagai $v_k(-)$ dan $\operatorname{var}(v_k)$ pada tahap prediksi dapat ditulis sebagai $P_k(-)$ maka mean dan varian ada tahap prediksi dapat dituliskan sebagai berikut:

Estimasi:

$$v_k(-) = \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta v_{k-1}(-) \qquad (4.24)$$

Kovarian Error:

$$P_k(-) = \beta^2 P_{k-1} + Q \qquad (4.25)$$

2. Tahap koreksi

Pada tahap ini hasil pengamatan baru c_k yang ada digunakan untuk memperbarui estimasi v_k dan akan didapatkan estimasi varian untuk hari ke-k. Karena bentuk Persamaan (4.23) tidak linier, maka harus dilinierkan dengan cara menderetkan taylor orde satu seperti dalam persamaan (2.45) dan kemudian didefinisikan $\widetilde{v}_k = v_k - \bar{v}_k$ dan $\widetilde{z}_k = z_k - \bar{z}_k$, sehingga didapatkan

$$h(v(t_k),k) \approx h(\bar{v}(t_k),k) + \left.\frac{\partial h(v,k)}{\partial v}\right|_{v=\bar{v}_k} \widetilde{v}_k \qquad (4.26)$$

Dengan matriks Jacobian $H(v_k)$ pada Persamaan (2.47), sehingga akhirnya sesuai Persamaan (2.49) bentuk model pengukuran menjadi linier, yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\widetilde{z}_k = H(v_k)\ \widetilde{v}_k + y_k$$

(4.27)

dimana h adalah perluasan *Formula Black Scholes* (c_k), dan x_k adalah v_k. Berdasarkan Persamaan (2.47.), matriks Jacobian dari persamaan (4.26) adalah:

$$H_k \equiv \left.\frac{\partial c_k}{\partial v_k}\right|_{v_k=\mu_k} \qquad (4.28)$$

$$H_k = \frac{d}{dv_k} f(v_k) \qquad (4.29)$$

dengan

$$f(v_k) = S\,N_2(a_1,b_1;\rho) - X_2\,e^{-r(T_2-t)}\,N_2(a_2,b_2;\rho) - X_1\,e^{-r(T_1-t)}\,N(a_2)$$

$$\ldots\ldots(4.30)$$

$$a_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1 - t)}{\sigma\sqrt{T_1 - t}},\quad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1 - t}$$

$$b_1 = \frac{\ln\frac{S}{X_2} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2 - t)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}},\quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2 - t}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{T_1 - t}{T_2 - t}}$$

Misal :

$$\hat{A} = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + r(T_1 - t)}{\sqrt{T_1 - t}}, \quad \hat{B} = \frac{\sqrt{T_1 - t}}{2}$$

$$\hat{C} = \frac{\ln\left(\frac{S}{X_2}\right) + r(T_2 - t)}{\sqrt{T_2 - t}}, \quad \hat{D} = \frac{\sqrt{T_2 - t}}{2}$$

Sehingga a_1, a_2, b_1, b_2 dapat dituliskan sebagai berikut :

$$a_1(v_k) = \frac{\hat{A}}{\sqrt{v_k}} + \hat{B}\sqrt{v_k} \tag{4.31}$$

$$a_2(v_k) = a_1(v_k) - 2\hat{B}\sqrt{v_k} \tag{4.32}$$

$$b_1(v_k) = \frac{\hat{C}}{\sqrt{v_k}} + \hat{D}\sqrt{v_k} \tag{4.33}$$

$$b_2(v_k) = b_1(v_k) - 2\hat{D}\sqrt{v_k} \tag{4.34}$$

Persamaan (4.29) diuraikan sebagai berkut:

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{d}{dv_k} f(v_k) \\ &= \frac{d}{dv_k}\left(SN_2(a_1, b_1; \rho) - X_2 e^{-r(T_2 - t)} N_2(a_2, b_2; \rho) - X_1 e^{-r(T_1 - t)} N(a_2)\right) \\ &= S\left(\frac{\partial N_2(a_1, b_1; \rho)}{\partial a_1}\frac{da_1}{dv_k} + \frac{\partial N_2(a_1, b_1; \rho)}{\partial b_1}\frac{db_1}{dv_k}\right) - X_2 e^{-r(T_2 - t)}\left(\frac{\partial N_2(a_2, b_2; \rho)}{\partial a_2}\frac{da_2}{dv_k} + \right. \\ &\quad \left. \frac{\partial N_2(a_2, b_2; \rho)}{\partial b_2}\frac{db_2}{dv_k}\right) - X_1 e^{-r(T_1 - t)}\left(\frac{dN(a_2)}{da_2}\frac{da_2}{dv_k}\right) \end{aligned} \tag{4.35}$$

Berdasarkan persamaan (2.19) CDF dari distribusi Normal *Bivariate* standart dapat diperoleh :

$$N_2(a_1,b_1;\rho)=\int_{-\infty}^{a_1}\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{z_1'^2-2\rho z_1'z_2'+z_2'^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_2'\,dz_1'$$

(4.36)

Dimisalkan $z_1'=\dfrac{a_1-\mu_1'}{\sigma_1'}$, dan $z_2'=\dfrac{b_1-\mu_2'}{\sigma_2'}$, diperoleh $dz_1'=da_1$ dan $dz_2'=db_1$, maka turunan pertama persamaan (4.36) terhadap a_1 adalah:

$$\frac{\partial N_2(a_1,b_1;\rho)}{\partial a_1}=\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{a_1^2-2\rho a_1 z_2'+z_2'^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_2'$$

(4.37)

Sedangkan turunan pertama persamaan (4.31) adalah

$$\frac{da_1}{dv_k}=-\frac{1}{2}\hat{A}v_k^{-3/2}+\frac{1}{2}\hat{B}v_k^{-1/2}$$

$$=-\frac{1}{2}\left(\hat{A}v_k^{-3/2}-\hat{B}v_k^{-1/2}\right) \qquad (4.38)$$

Turunan pertama persamaan (4.36) terhadap b_1 adalah

$$\frac{\partial N_2(a_1,b_1;\rho)}{\partial b_1}=\int_{-\infty}^{a_1}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{z_1'^2-2\rho' z_1 b_1+b_1^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_1' \qquad (4.39)$$

Sedangkan turunan pertama persamaan (4.33) adalah

$$\frac{db_1}{dv_k}=-\frac{1}{2}\hat{C}v_k^{-3/2}+\frac{1}{2}\hat{D}v_k^{-1/2}$$

$$=-\frac{1}{2}\left(\hat{C}v_k^{-3/2}-\hat{D}v_k^{-1/2}\right) \qquad (4.40)$$

Seperti pada persamaan (4.36) juga dapat diperoleh:

$$N_2(a_2,b_2;\rho)=\int_{-\infty}^{a_2}\int_{-\infty}^{b_2}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{z_1^2-2\rho z_1 z_2+z_2^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_2\,dz_1$$

.......(4.41)

Dimisalkan $z_1 = \frac{a_2 - \mu_1}{\sigma_1}$, $z_1 = \frac{b_2 - \mu_2}{\sigma_2}$ diperoleh $dz_1 = da_2$ dan $dz_2 = db_2$, maka turunan pertama persamaan (4.41) terhadap a_2 adalah:

$$\frac{\partial N_2(a_2, b_2; \rho)}{\partial a_2} = \int_{-\infty}^{b_2} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{a_2^2 - 2\rho\, a_2 z_2 + z_2^2}{2(1-\rho^2)} \right) dz_2$$

......(4.42)

Sedangkan turunan pertama persamaan (4.32) adalah

$$\frac{da_2}{dv_k} = -\frac{1}{2}\hat{A}v_k^{-3/2} - \frac{1}{2}\hat{B}v_k^{-1/2}$$

$$= -\frac{1}{2}\left(\hat{A}v_k^{-3/2} + \hat{B}v_k^{-1/2}\right) \tag{4.43}$$

Turunan pertama persamaan (4.36) terhadap b_2 adalah

$$\frac{\partial N_2(a_2, b_2; \rho)}{\partial b_2} = \int_{-\infty}^{a_2} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{z_1^2 - 2\rho\, z_1 b_2 + b_2^2}{2(1-\rho^2)} \right) dz_1 \tag{4.44}$$

Sedangkan turunan pertama persamaan (4.34) adalah

$$\frac{db_2}{dv_k} = -\frac{1}{2}\hat{C}v_k^{-3/2} - \frac{1}{2}\hat{D}v_k^{-1/2}$$

$$= -\frac{1}{2}\left(Cv_k^{-3/2} + Dv_k^{-1/2}\right) \tag{4.45}$$

Karena

$$\frac{dN(x)}{dx} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

Maka dapat diperoleh

$$\frac{dN(a_1)}{da_1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-a_1^2/2}$$

Sehingga dapat diperoleh

$$\frac{dN(a_2)}{da_2} = \frac{dN(a_1)}{da_1} \frac{S}{X} e^{r(T_1 - t)} \tag{4.46}$$

Kemudian dengan mensubstituskan persamaan (4.37), (4.38), (4.39), (4.40), (4.42), (4.43), (4.44), (4.45) dan (4.46) ke persaman (4.35) didapatkan:

$$H_k = S\hat{R} - X_2 e^{-r(T_2-t)}\hat{P} - \frac{SX_1}{X}\frac{dN(a_1)}{da_1}e^{-r(T_1-t)}e^{r(T_1-t)}\left(-\frac{1}{2}\left(\hat{A}v_k^{-3/2} + \hat{B}v_k^{-1/2}\right)\right)$$

$$H_k = S\hat{R} - X_2 e^{-r(T_2-t)}\hat{P} + \frac{SX_1}{X}\frac{dN(a_1)}{da_1}\left(\frac{1}{2}\hat{A}v_k^{-3/2} + \frac{1}{2}\hat{B}v_k^{-1/2}\right)$$

Jika $\left(\frac{1}{2}\hat{A}v_k^{-3/2} + \frac{1}{2}\hat{B}v_k^{-1/2}\right)$ dinyatakan sebagai $\hat{Q}$, maka penyelesaian persamaan (4.35) sebagai berikut:

$$H_k = S\hat{R} - X_2 e^{-r(T_2-t)}\hat{P} + \frac{SX_1}{X}\frac{dN(a_1)}{da_1}\hat{Q} \tag{4.47}$$

Dengan

$$\hat{R} = \left(\int_{-\infty}^{b_1}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{a_1^2 - 2\rho a_1 z_2' + z_2'^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_2'\left(-\frac{1}{2}\left(\hat{A}v_k^{-3/2} - \hat{B}v_k^{-1/2}\right)\right)\right.$$
$$\left. + \int_{-\infty}^{a_1}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{z_1'^2 - 2\rho z_1' b_1 + b_1^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_1'\left(-\frac{1}{2}\left(\hat{C}v_k^{-3/2} - \hat{D}v_k^{-1/2}\right)\right)\right)$$

$$\hat{P} = \left(\int_{-\infty}^{b_2}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{a_2^2 - 2\rho a_2 z_2 + z_2^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_2\left(-\frac{1}{2}\left(\hat{A}v_k^{-3/2} + \hat{B}v_k^{-1/2}\right)\right)\right.$$
$$\left. + \int_{-\infty}^{a_2}\frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{z_1^2 - 2\rho z_1 b_2 + b_2^2}{2(1-\rho^2)}\right)dz_1\left(-\frac{1}{2}\left(\hat{C}v_k^{-3/2} + \hat{D}v_k^{-1/2}\right)\right)\right)$$

$$\hat{Q} = \left(\frac{1}{2}\hat{A}v_k^{-3/2} + \frac{1}{2}\hat{B}v_k^{-1/2}\right)$$

Perumusan Kalman Gain berdasarkan Persamaan (2.40) adalah $K_{k+1} = P_{k+1}(-)H_{k+1}^T(H_{k+1}P_{k+1}(-)H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1}$. Karena matriks *H, P* dan *R* memiliki nilai konstan, maka Kalman Gain untuk model pengukuran (4.23) menjadi:

$$K_k = \frac{P_k(-)H_k}{P_k(-)H_k^2 + R} \tag{4.48}$$

Adapun mean pada tahap koreksi menjadi

$$v_k = v_k(-) + K_k(c_k - c_k(-)) \tag{4.49}$$

Sedangkan kovarian eror pada tahap koreksi dari model pengukuran (4.19) dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_k = (I - K_k H_k)P_k(-) \tag{4.50}$$

Sehingga algoritma alternatif untuk tahap prediksi dan tahap koreksi secara lengkap dapat ditulis sebagai berikut:

Tahap Prediksi :

$$v_k(-) = \omega + \alpha u_{k-1}^2 + \beta v_{k-1}(-) \tag{4.51}$$

$$P_k(-) = \beta^2 P_{k-1} + Q \tag{4.52}$$

Tahap koreksi:

$$K_k = \frac{P_k(-)H_k}{P_k(-)H_k^2 + R} \tag{4.53}$$

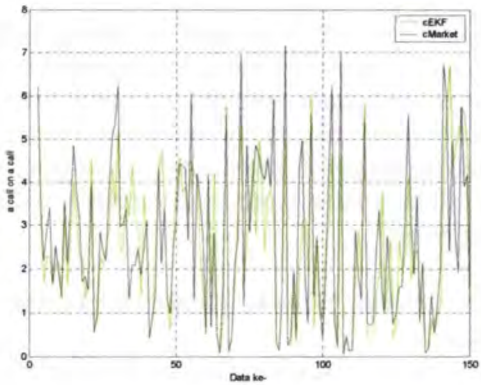
$$v_k = v_k(-) + K_k(c_k - c_k(-)) \tag{4.54}$$

$$P_k = (I - K_k H_k)P_k(-) \tag{4.55}$$

$$H_k = S\hat{R} - X_2 e^{-r(T_2 - t)}\hat{P} + \frac{SX_1}{X}\frac{dN(a_1)}{da_1}\hat{Q} \tag{4.56}$$

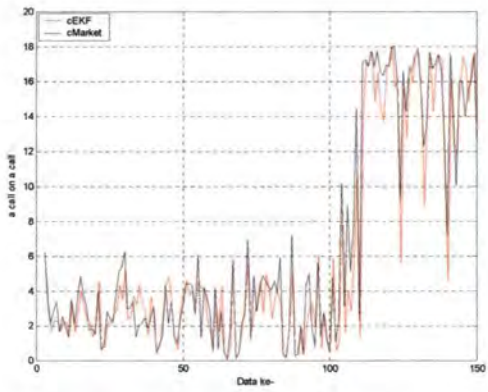
4.3.3 Estimasi *A Call On A Call Compound Option* dengan Menggunakan Matlab

Dengan memasukkan *noise* Q =6.25e-010, R =6.25e-010, kovarian awal = 0.005, *strike price* pertama (X_1) =1, *strike price* kedua (X_2) = 76, Nilai Kritis harga saham pada saat T_1 (X) = 77, suku bunga (r) = 0.05, *maturity date* pertama (T_1) $= \frac{3}{12} = 0.25$, *maturity date* kedua (T_2) $= \frac{6}{12} = 0.5$ dan *present time*nya pada hari keenam setelah bulan pertama *(t)* $= \frac{36}{360} = 0.1$. Hasil estimasi harga *a call on call compound option* dengan metode *Extended Kalman Filter* ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7
Estimasi A *Call On A Call Compound Option* dengan *EKF* pada Harga Saham Tanpa Gangguan

Jika pada data harga saham ke 101-150 diberi gangguan, maka diperoleh hasil estimasi yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8
Estimasi A *Call On A Call Compound Option* dengan *EKF* pada Harga Saham dengan Gangguan

Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan bahwa hasil estimasi harga *a call on a call compound option* dengan metode EKF sama dengan hasil estimasi dengan *GARCH(1,1)*. Ini dikarenakan nilai H_k (persamaan 4.56) sama dengan nol akibatnya *market compound option price* tidak berpengaruh pada *estimasi*. Sedangkan nilai H_k sama dengan nol diduga karena proses linierisasi pada persamaan 4.30 yang kurang tepat.

4.4 Perbandingan Error Metode GARCH(1,1) dan *Extended Kalman Filter*

Pada umumnya estimasi dengan menggunakan suatau metode memiliki error atau kesalahan jika dibandingkan dengan data yang sebenarnya. Untuk menghitung error dapat dilakukan dengan *Relatif Price Error* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$RPE_k = \frac{\left|BS_k(\hat{v}) - c_k\right|}{c_k} \tag{4.58}$$

Dimana $\hat{v}$ adalah estimasi dari varian dan c_k adalah *market compound option price*.

Hasil perhitungan eror dengan menggunakn *Relative Price Error*, diperoleh rata-rata untuk masing-masing metode *Garch(1,1)* dan *Extended Kalman Filter* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rata-rata *Relatif Price Error* Metode *GARCH(1,1)* dan Metode EKF pada Harga Saham Tanpa Gangguan

Metode	Rata- rata Error
GARCH(1,1)	0.33705142859004
EKF	0.33705142859004

Jika data saham ke 101-150 diberi gangguan, dalam arti dinaikkan. Hasil perhitungan rata-rata eror dengan menggunakn *Relative Price Error* untuk masing-masing metode *Garch(1,1)* dan *Extended Kalman Filter* ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Rata-rata *Relatif Price* Error Metode GARCH(1,1) dan Metode EKF pada Harga Saham dengan Gangguan

Metode	**Rata- rata Error**
GARCH(1,1)	0.25348133676318
EKF	0.25348133676318

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa perubahan harga saham yang relatif besar/kecil mengakibatkan nilai volatilitas semakin besar/kecil. Jika Harga saham diberi gangguan(dalam hal ini data ke 101-150), maka terdapat penurunan rata-rata *Relatif Price Error* pada metode *Garch(1,1)*. Ini menunjukkan bahwa metode *Garch(1,1)* dapat mengantisipasi gangguan yang diberikan. Sedangkan pada *Extended Kalman Filter* memiliki rata-rata *Relatif Price Error* yang sama dengan metode *Garch(1,1)* baik ketika harga saham diberi gangguan ataupun tidak. Hal ini dikarenakan volatilitas tahap koreksi pada metode *Extended Kalman Filter* memiliki nilai yang sama dengan volatilitas pada metode *Garch(1,1)*. Ini disebabkan H_k yang bernilai nol. Hal ini diduga karena proses linierisasi yang kurang tepat.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan mengenai estimasi harga *compound option* tipe Eropa pada kasus *a call on a call*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Formula *a call on a call compound option* didapatkan dari perluasan model *Black Scholes* dengan menggunakan *discounted expectation*, yaitu:

   $$c(S,t) = S\,N_2(a_1,b_1;\rho) - X_2\,e^{-r(T_2-t)}\,N_2(a_2,b_2;\rho) - X_1 e^{-r(T_1-t)}\,N(a_2)$$

   Dengan

   $$a_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_1 - t)}{\sigma\sqrt{T_1 - t}},\quad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1 - t}$$

   $$b_1 = \frac{\ln\frac{S}{X_2} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T_2 - t)}{\sigma\sqrt{T_2 - t}},\quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2 - t}$$

   $$\rho = \sqrt{\frac{T_1 - t}{T_2 - t}}$$

2. Pada *Extended Kalman Filter* terdapat model dinamik dan model pengukuran. Model dinamik yang digunakan adalah model *GARCH(1,1)* dan data pengukuran yang digunakan adalah harga *a call on a call compound option* yang merupakan perluasan model *Black Scholes*. Hasil estimasi volatilitas digunakan untuk mengestimasi *a call on a call compound option.*
3. Hasil estimasi dengan *GARCH(1,1)* tidak mendekati *market compound option price.*
4. Terdapat penurunan *rata-rata Relatif Price Error* pada metode *GARCH(1,1)* jika harga saham diberi gangguan(data ke 101-150). Ini menunjukkan bahwa

metode *GARCH(1,1)* dapat mengantisipasi gangguan yang diberikan.

5. Metode *Extended Kalman Filter* memiliki rata-rata *Relatif Price Error* yang sama dengan rata-rata *Relatif Price Error* metode *GARCH(1,1)*. Ini dikarenakan tahap koreksi tidak berpengaruh yang disebabkan H_k memiliki nilai nol. Hal itu diduga dikarenakan proses linierisasi yang kurang tepat.

5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan adalah:

1. Adanya penelitian lebih lanjut tentang pelinieran fungsi yang mengandung fungsi distribusi normal *bivariate.*
2. Adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data lapangan, sehingga dapat diketahui seberapa besar kesalahan estimasinya. Data lapangan yang digunakan akan dibentuk menjadi matrik kolom.

DAFTAR PUSATAKA

DAFTAR PUSTAKA

[1] Chatfield, C dan Collins, A. J. 1995. **Introduction to Multivariate Analysis.** Florida : Chapman & Hall.

[2] Hull, C. 2002. **Option Futures and Other Derivatives.** New Jersey : Prentice Hall

[3] Kwok, Yue Kuen. 1998. **Mathematical Models of Financial Derivatives,** Singapore: Springer.

[4] Lewis, Frank L. 1986. **Optimal Estimation With An Introduction To Stocasthic Control Theory.** New York : John Willey & Sons.

[5] Rahayu, S.K. 2006. **Estimasi Nilai European Call Option Menggunakan Metode Historical Data dan Extended Kalman Filter.** Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Matematika ITS.

[6] Salim, Lani. 2003. **Derivatif : Option & Warrant.** Jakarta.: Elex Media Komputindo.

[7] Sembel, Roy & Fardiansyah, Tedy. 2002. **Sekuritas Derivatif : madu atau racun?.** Jakarta: Salemba Empat.

[8] Surya, Yohanes & Hariadi, Yun, Oktober 2006. **GARCH (2,1) pada LQ45,** <URL:http://www.bandungfe.net>.

[9] Thomopoulus, N. T., dan Jantaravareerat, M., Januari 2007. **Tables for the Standard Bivariate Normal Distribution,** <URL:www.stuart.iit.edu/phd/montire/pap1.pdf>

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
Program Generate Saham

```
clear all;
clc;
% warning off MATLAB:divideByZero;
format long g
load histprice04
%Generate Harga saham
S0=80; %misal harga saham awal 80
S=std(price)*randn(1,150)+mean(price)
dS(1)=S(1)-S0;
for i=2:150
    dS(i)=S(i)-S(i-1);
end
save gensaham1

%plot grafik Harga Saham
plot(3:150,S(3:150),'black')
legend(' Harga Saham')
xlabel('Data ke-')
ylabel(' Harga Saham ')
Grid on;
```

LAMPIRAN 2
Program Generate cmarket

```
clear all;
warning off MATLAB:divideByZero;
format long g
load inputmarket
%--------------------------------------------
% Inisialisasi parameter-parameter
Omega =  0.0000180505532492l525 ;
Alpha =   0.5126036519519577800O ;
Beta  =  0.1749356588215811900O  ;
T1= 0.15;% nilai expiration date pertama
T2= 0.4; % nilai expiration date kedua
r = 0.05;% suku bunga bank, misal 5%
X = 77;  % nilai kritis harga saham saat T1
X1= 1;   % nilai strike price pertama
X2= 76;  % nilai strike price kedua
%--------------------------------------------
% Stock Return
U(1)=0;
for i=2:150
% Formula Stock Return
U(i)=(S(i)-S(i-1))/S(i-1);
end
%--------------------------------------------
% Estimasi Variance Menggunakan GARCH(1,1)
%  saat t=1:2
i=1:2;
vargarch1(i)=0;
cmarket(i)=0;
%  saat t=3
vargarch1(3)=U(2)^2+w(3);
for i=4:150
% Formula variance
```

```
vargarch1(i)=Omega+Alpha*U(i-
1)^2+Beta*vargarch1(i-1)+w(i);
end
%-----------------------------------------
cmarket(1)=0;
cmarket(2)=0;
for i=3:150
a1market(i)=(log(S(i)/X)+(r+(vargarch1(i)/2)
)*T1)/sqrt(vargarch1(i)*T1);
a2market(i)=a1market(i)-
sqrt(vargarch1(i)*T1);
b1market(i)=(log(S(i)/X2)+(r+(vargarch1(i)/2
))*T2)/sqrt(vargarch1(i)*T2);
b2market(i)          =          b1market(i)-
sqrt(vargarch1(i*T2);
Na2market(i)=normcdf(a2market(i),mean(a2mark
et),std(a2market));
%Variabel fungsi normal bivariate
a11market(i)=(a1market(i)-
mean(a1market))/std(a1market);
b11market(i)=(b1market(i)-
mean(b1market))/std(b1market);
a21market(i)=(a2market(i)-
mean(a2market))/std(a2market);
b21market(i)=(b2market(i)-
mean(b2market))/std(b2market);
FFmarket(i=biv11market(a11market(i),b11marke
t(i));   %fungsi normal bivariate
FF1market(i)=biv22market(a21market(i),b21mar
ket(i));  %fungsi normal bivariate
%   formula a call on a call compound option
cmarket(i)=S(i)*FFmarket(i)-       X2*exp(-
r*T2)*FF1market(i)-X1*exp(-
r*T1)*Na2market(i)+y(i);
end
save gencmarket
```

LAMPIRAN 3
Program Estimasi Volatilitas dengan GARCH(1,1)

```
clear all;
warning off MATLAB:divideByZero;
load gensaham1
%Estimasi parameter
format long
U(1)=0;
for i=2:150
U(i)=(S(i)-S(i-1))/S(i-1);
end
%   Set   the   simulation   parameters   of
GARCH(P,Q) = GARCH(1,1) process.
P = 1;  %Model order P (P=length of Alpha)
Q = 1;  %Model order Q (Q=length of Beta)
NumSamples=150;
[Omega,Alpha,Beta]=ugarch(U', P, Q);
%memasukkan formula volatilitas
i=1,2;
varian(i)=0;
varian(3)=U(2)^2;
for i=4:150
varian(i)=Omega+Alpha*(U(i-
1)^2)+Beta*varian(i-1);
end
vol=sqrt(varian);
save volgensaham1
%plot grafik volatilitas
plot(3:150,vol(3:150),'red')
title('Estimasi      volatilitas      Saham
GARCH(1,1)')
legend('Volatilitas GARCH')
xlabel('Waktu ke-')
ylabel('volatilitas')
Grid on;
```

LAMPIRAN 4

Program Estimasi Harga *A Call On A Call Compound Option Menggunakan Garch(1,1)*

```
clear all;
warning off MATLAB:divideByZero;
format long g
load cmarket
%--------------------------------------------------
-----------------------------------
% Inisialisasi parameter-parameter
Omega        =  0.0000180505532492l525 ;
Alpha       =  0.5126036519519577800O ;
Beta        = 0.17493565882158119000  ;
T1= 0.15;  % nilai expiration date pertama
T2= 0.4;   % nilai expiration date kedua
r= 0.05;   % suku bunga bank, misal 5%
X= 77;    % nilai kritis harga saham saat T1
X1= 1;     % nilai strike price pertama
X2= 76;    % nilai strike price kedua
%--------------------------------------------------
-----------------------------------
% Stock Return
U(1)=0;
for i=2:150
% Formula Stock Return
U(i)=(S(i)-S(i-1))/S(i-1);
end
%--------------------------------------------------
-----------------------------------
% Estimasi Variance Menggunakan GARCH(1,1)
%  saat t=1:2
i=1:2;
vargarch(i)=0;
%  saat t=3
vargarch(3)=U(2)^2;
```

```
for i=4:150
% Formula variance
 vargarch(i)=Omega+Alpha*U(i-
1)^2+Beta*vargarch(i-1);
end
%-------------------------------------------
%    Estimasi    Volatilitas    Menggunakan
GARCH(1,1)
for i=1:150
% Formula variance
volgarch(i)=sqrt(vargarch(i));
end
%-------------------------------------------
%  Estimasi  Compound  Option  menggunakan
GARCH(1,1)
cgarch(1)=0;
cgarch(2)=0;
for i=3:150
a1(i)=(log(S(i)/X)+(r+(vargarch(i)/2))*T1)/s
qrt(vargarch(i)*T1);
a2(i)=a1(i)-sqrt(vargarch(i)*T1);
b1(i)=log(S(i)/X2)+(r+(vargarch(i)/2))*T2)/s
qrt(vargarch(i)*T2);
b2(i)=b1(i)-sqrt(vargarch(i)*T2);
Na2(i) = normcdf(a2(i),mean(a2),std(a2));
 %   Variabel fungsi normal bivariate
    a11(i)= (a1(i)-mean(a1))/std(a1);
    b11(i)= (b1(i)-mean(b1))/std(b1);
    a21(i)= (a2(i)-mean(a2))/std(a2);
    b21(i)= (b2(i)-mean(b2))/std(b2);
    FF(i) = biv11(a11(i),b11(i));    %fungsi
normal bivariate
    FF1(i)= biv22(a21(i),b21(i));    %fungsi
normal bivariate
 %formula a call on a call compound option
```

```
cgarch(i)=S(i)*FF(i)-X2*exp(-r*T2)*FF1(i)-
X1*exp(-r*T1)*Na2(i);
end
% RPE GARCH(1,1)
for i=3:150;
erorcgarch(i)=abs(cgarch(i)-
cmarket(i))/cmarket(i);
rataerorcgarch=mean(erorcgarch);%AVERAGE
EROR GARCH (1,1)
end
fprintf(' Rata- rata Error Metode GARCH(1,1)
= %7.14f  \n', rataerorcgarch)

save Cgarch

% Cetak plot
i=3:150;
plot(i,cgarch(i),'blue',i,cmarket(i),'black'
)
legend('cGARCH','cMarket')
xlabel('Data  ke-'),ylabel('a  call  on  a
call')
grid on
```

LAMPIRAN 5

Estimasi *A Call On A Call Compound Option* dengan *Extended Kalman Filter*

```
clear all;
warning off MATLAB:divideByZero;
 format long g
 % Memanggil nilai saham (S) dan cmarket
load cmarket
%---------------------------------------------
% Inisialisasi parameter-parameter
Omega        =  0.0000180505532492l525 ;
Alpha       =   0.51260365195195778000 ;
Beta        =  0.17493565882158119000  ;
Q=6.25e-010;
R=6.25e-010;
T1 = 0.15;  % nilai expiration date pertama
T2 = 0.4;   % nilai expiration date kedua
r = 0.05;   % suku bunga bank, misal 5%
X = 77;      % nilai kritis harga saham saat
T1
X1 = 1;     % nilai strike price pertama
X2 = 76;    % nilai strike price kedua
phi=22/7;
%---------------------------------------------
% Stock Return
U(1)=0;
for i=2:150
    % Formula Stock Return
    U(i)=(S(i)-S(i-1))/S(i-1);
end
%---------------------------------------------
% Estimasi A Call On A call Compound Option
Metode Extended Kalman Filter
%---------------------------------------------
% Estimasi saat t=1
```

```
i=1;
Vpre(i)=0;
Ppre(i)=0.005;
Pkor(i)=0.005;
Vkor(i)=0;
cestimasi(i)=0;  %  c_estimasi;  memanggil
fungsi a call on a call dengan garch(1,1)
cEKF(i)=0;   % c_estimasi; memanggil fungsi
a call on a call dengan EKF
%---------------------------------------------
% Estimasi saat t=2
i=2;
Vpre(i)=0;
Ppre(i)=0.005;
Pkor(i)=0.005;
Vkor(i)=0;
cestimasi(i)=0;  %  c_estimasi;  memanggil
fungsi a call on a call dengan garch(1,1)
cEKF(i)=0; % c_estimasi; memanggil fungsi a
call on a call dengan EKF
%---------------------------------------------
% Estimasi saat t=3
i=3;
%---------------------------------------------
%Tahap Prediksi
%-------------------
Vpre(i)=U(i-1)^2;
Ppre(i)=(Beta^2)*Pkor(i-1)+Q;
c_estimasi; % c_estimasi; memanggil fungsi a
call on a call dengan garch(1,1)
%---------------
% Mencari Hk
%---------------
% Menghitung nilai A,B,C dan D
A(i)=((log(S(i)/X))+(r*T1))/(sqrt(T1));
B(i)=sqrt(T1)/2;
```

```
C(i)=((log(S(i)/X2))+(r*T2))/(sqrt(T2));
D(i)=sqrt(T2)/2;

a1(i)=A(i)/sqrt(Vpre(i))+B(i)*sqrt(Vpre(i));
a2(i)=a1(i)-2*B(i)*sqrt(Vpre(i));
b1(i)=C(i)/sqrt(Vpre(i))+D(i)*sqrt(Vpre(i));
b2(i)=b1(i)-2*D(i)*sqrt(Vpre(i));
%-----------------------------------------
% Menghitung R1
z2=-10.1:0.1:b1(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
 for j=1:length(z2)
     ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(a1(i)^2-2*rho*a1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
 end
P=delta*ff;
R1(i)=sum(P);
%-----------------------------------------
% Menghitung R2
z1=-10.1:0.1:a1(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
for j=1:length(z1)
    ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(z1(j)^2-2*rho*z1(j)*b1(i)+b1(i)^2)/(2*(1-
rho^2)));
end
P=delta*ff;
R2(i)=sum(P);
%-----------------------------------------
% Menghitung P1
z2=-10.1:0.1:b2(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
```

```
    for j=1:length(z2)
        ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(a2(i)^2-2*rho*a2(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
P=delta*ff;
P1(i)=sum(P);
%---------------------------------------------
% Menghitung P2
z1=-10.1:0.1:a2(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
for j=1:length(z1)
        ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(z1(j)^2-2*rho*z1(j)*b2(i)+b2(i)^2)/(2*(1-
rho^2)));
end
P=delta*ff;
P2(i)=sum(P);
%---------------------------------------------
Hrg_R(i)=(R1(i)*((-1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-1/2)))+R2(i)*((-
1/2)*C(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(1/2)*D(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
Hrg_P(i)=(P1(i)*((-1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(-1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-
1/2)))+P2(i)*((-1/2)*C(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(-1/2)*D(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
Hrg_Q(i)=(((1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2)))+((1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
%---------------------------------------------
%-------------
%Tahap Koreksi
%-------------
```

```
H(i)=S(i)*Hrg_R(i)-X2*(exp(-
r*T2))*Hrg_P(i)+((S(i)*X1)/X)*Hrg_Q(i)*(1/sq
rt(2*pi))*exp(-1*((a1(i)^2)/2));
K_EKF(i)=(Ppre(i)*H(i))/(Ppre(i)*(H(i)^2)+R)
;
beda(i)=abs(cmarket(i)-cestimasi(i));
Vkor(i)=Vpre(i)+(K_EKF(i)*beda(i));
Pkor(i)=(1-(K_EKF(i)*H(i)))*Ppre(i);
c_EKF; % c_estimasi; memanggil fungsi a call
on a call dengan EKF
%--------------------------------------------
% Estimasi saat t=4 s.d. 150
for i=4:150
%--------------
%Tahap Prediksi
%--------------
Vpre(i)=Omega+Alpha*(U(i-1)^2)+Beta*Vkor(i-
1);
Ppre(i)=(Beta^2)*Pkor(i-1)+Q;
c_estimasi; % c_estimasi; memanggil fungsi a
call on a call dengan garch(1,1)
%--------------
%  Mencari Hk
%--------------
% Menghitung nilai A,B,C dan D
A(i)=((log(S(i)/X))+(r*T1))/(sqrt(T1));
B(i)=sqrt(T1)/2;
C(i)=((log(S(i)/X2))+(r*T2))/(sqrt(T2));
D(i)=sqrt(T2)/2;

a1(i)=A(i)/sqrt(Vpre(i))+B(i)*sqrt(Vpre(i));
a2(i)=a1(i)-2*B(i)*sqrt(Vpre(i));
b1(i)=C(i)/sqrt(Vpre(i))+D(i)*sqrt(Vpre(i));
b2(i)=b1(i)-2*D(i)*sqrt(Vpre(i));
```

```
%----------------------------------------------
% Menghitung R1
z2=-10.1:0.1:b1(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
 for j=1:length(z2)
     ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(a1(i)^2-2*rho*a1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
 end
P=delta*ff;
R1(i)=sum(P);
%----------------------------------------------
% Menghitung R2
z1=-10.1:0.1:a1(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
for j=1:length(z1)
    ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(z1(j)^2-2*rho*z1(j)*b1(i)+b1(i)^2)/(2*(1-
rho^2)));
end
P=delta*ff;
R2(i)=sum(P);
%----------------------------------------------
% Menghitung P1
z2=-10.1:0.1:b2(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
    for j=1:length(z2)
        ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(a2(i)^2-2*rho*a2(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
P=delta*ff;
P1(i) = sum(P);
```

```
%-----------------------------------------------
% Menghitung P2
z1=-10.1:0.1:a2(i);
rho=0.6;
delta=0.1;
for j=1:length(z1)
        ff(j)=(1/(2*pi*sqrt(1-rho^2)))*exp(-
(z1(j)^2-2*rho*z1(j)*b2(i)+b2(i)^2)/(2*(1-
rho^2)));
end
P=delta*ff;
P2(i)=sum(P);
%-----------------------------------------------
Hrg_R(i)=(R1(i)*((-1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-1/2)))+R2(i)*((-
1/2)*C(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(1/2)*D(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
Hrg_P(i)=(P1(i)*((-1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(-1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-
1/2)))+P2(i)*((-1/2)*C(i)*(Vpre(i)^(-
3/2))+(-1/2)*D(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
Hrg_Q(i)=(((1/2)*A(i)*(Vpre(i)^(-
3/2)))+((1/2)*B(i)*(Vpre(i)^(-1/2))));
%--------------
%Tahap Koreksi
%--------------
H(i)=S(i)*Hrg_R(i)-X2*(exp(-
r*T2))*Hrg_P(i)+((S(i)*X1)/X)*Hrg_Q(i)*(1/sq
rt(2*pi))*exp(-1*((a1(i)^2)/2));
K_EKF(i)=(Ppre(i)*H(i))/(Ppre(i)*(H(i)^2)+R)
;
beda(i)=abs(cmarket(i)-cestimasi(i));
Vkor(i)=Vpre(i)+(K_EKF(i)*beda(i));
Pkor(i)=(1-(K_EKF(i)*H(i)))*Ppre(i);
c_EKF; % c_estimasi; memanggil fungsi a call
on a call dengan EKF
```

```
end
% Volatilitas EKF
for i=1:150
    volEKF(i)=sqrt(Vkor(i));
end
% RPE GARCH(1,1)
for i=3:150;
erorcEKF(i)=abs(cEKF(i)-
cmarket(i))/cmarket(i);
rataerorcEKF=mean(erorcEKF);
end
fprintf(' Rata- rata Error Metode EKF =
%7.14f  \n', rataerorcEKF)
save cEKFg2
% Cetak Grafik
i=3:150;
plot(i,cEKF(i),'green',i,cmarket(i),'black')
legend('cEKF','cMarket')
xlabel('Data  ke-'),ylabel('  a  call  on  a
call')
grid on
```

LAMPIRAN 6
Fungsi Distribusi Normal Bivariate dengan Variabel a1,b1 pada cmarket

```
function[FFmarket]=
biv11market(a11market,b11market)

z1 = -10.1:0.1:a11market;
z2 = -10.1:0.1:b11market;

rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z1)
    for j = 1:length(z2)
        ff(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z1(i)^2-
2*rho*z1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-rho^2)));
    end
end

clear i j
for i = 1:length(z1)-1
    for j = 1:length(z2)-1
        g0(i,j)=ff(i+1,j+1);  %% g(0,0) = f
        g1(i,j)=ff(i,j+1);  %% g(z1-0.1,z2)
        g2(i,j)=ff(i+1,j);   %% g(z1,z2-0.1)
        g3(i,j)=ff(i,j); %% g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end

h = 0.25*(g0+g1+g2+g3);      %% nilai h
P = delta^2*h;               %% nilai P
for j1 = 1:length(z1)-1
    Ff(j1) = sum(P(j1,:));
end
FFmarket = sum(Ff);
```

LAMPIRAN 7
Fungsi Distribusi Normal Bivariate dengan Variabel a2,b2 pada cmarket

```
function[FF1market]=biv22market(a21market,b2
1market)

z11 = -10.1:0.1:a21market;
z21 = -10.1:0.1:b21market;

rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z11)
    for j = 1:length(z21)
        ff1(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z11(i)^2-
2*rho*z11(i)*z21(j)+z21(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z11)-1
    for j = 1:length(z21)-1
        g01(i,j)=ff1(i+1,j+1); %% g(0,0) = f
        g11(i,j)=ff1(i,j+1); %% g(z1-0.1,z2)
        g21(i,j)=ff1(i+1,j); %% g(z1,z2-0.1)
        g31(i,j)=ff1(i,j);%%g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h1 = 0.25*(g01+g11+g21+g31);     %% nilai h
P1 = delta^2*h1;                %% nilai P
for j1 = 1:length(z11)-1
    Ff1(j1) = sum(P1(j1,:));
end
FF1market = sum(Ff1);
```

LAMPIRAN 8
Fungsi Distribusi Normal Bivariate dengan variabel a1,b1 pada cgarch

```
function [FF] = bivl1(a1,b1)
%clear all
z1 = -10.1:0.1:a1;
z2 = -10.1:0.1:b1;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z1)
    for j = 1:length(z2)
        ff(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z1(i)^2-
2*rho*z1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z1)-1
    for j = 1:length(z2)-1
        g0(i,j)=ff(i+1,j+1);  %% g(0,0) = f
        g1(i,j)=ff(i,j+1);  %% g(z1-0.1,z2)
        g2(i,j)=ff(i+1,j);  %% g(z1,z2-0.1)
        g3(i,j)=ff(i,j); %% g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h = 0.25*(g0+g1+g2+g3);      %% nilai h
P = delta^2*h;               %% nilai P
for j1 = 1:length(z1)-1
    Ff(j1) = sum(P(j1,:));
end
FF = sum(Ff);
```

LAMPIRAN 9

Fungsi Distribusi Normal Bivariate dengan variabel a2,b2 pada cgarch

```
function [FF1] = biva22(a2,b2)
clear all
z11 = -10.1:0.1:a2;
z21 = -10.1:0.1:b2;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z11)
    for j = 1:length(z21)
        ff1(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z11(i)^2-
2*rho*z11(i)*z21(j)+z21(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z11)-1
    for j = 1:length(z21)-1
        g01(i,j)=ff1(i+1,j+1); %% g(0,0) = f
        g11(i,j)=ff1(i,j+1); %% g(z1-0.1,z2)
        g21(i,j)=ff1(i+1,j); %% g(z1,z2-0.1)
        g31(i,j)=ff1(i,j);%%g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h1 = 0.25*(g01+g11+g21+g31);      %% nilai h
P1 = delta^2*h1;                 %% nilai P
for j1 = 1:length(z11)-1
    Ff1(j1) = sum(P1(j1,:));
end
FF1 = sum(Ff1);
```

LAMPIRAN 10

Fungsi *A Call on Call compound Option* dengan *Extended Kalman Filter*

```
a1EKF(i)=(log(S(i)/X)+(r+(Vkor(i)/2))*T1)/sq
rt(Vkor(i)*T1);
a2EKF(i)=a1EKF(i)-sqrt(Vkor(i)*T1);
b1EKF(i)=(log(S(i)/X2)+(r+(Vkor(i)/2))*T2)/s
qrt(Vkor(i)*T2);
b2EKF(i)=b1EKF(i)-sqrt(Vkor(i)*T2);
Na2EKF(i)=normcdf(a2EKF(i),mean(a2EKF),std(a
2EKF));
  %Variabel fungsi normal bivariate
a11EKF(i)=(a1EKF(i)-mean(a1EKF))/std(a1EKF);
b11EKF(i)=(b1EKF(i)-mean(b1EKF))/std(b1EKF);
a21EKF(i)=(a2EKF(i)-mean(a2EKF))/std(a2EKF);
b21EKF(i)=(b2EKF(i)-mean(b2EKF))/std(b2EKF);
FEKF(i)=bivaEKF1(a11EKF(i),b11EKF(i));
                   %fungsi normal bivariate
F1EKF(i)=bivaEKF2(a21EKF(i),b21EKF(i));
                   %fungsi normal bivariate
% Harga  a call on a call compound option
cEKF(i)=S(i)*FEKF(i)-X2*exp(-r*T2)*F1EKF(i)-
X1*exp(-r*T1)*Na2EKF(i);
```

LAMPIRAN 11
Fungsi *A Call on Call compound Option* dengan *GARCH(1,1)*

```
a1ESTIMASI(i)=(log(S(i)/X)+(r+(Vpre(i)/2))*T
1)/sqrt(Vpre(i)*T1);
a2ESTIMASI(i)=a1ESTIMASI(i)-
sqrt(Vpre(i)*T1);
b1ESTIMASI(i)=(log(S(i)/X2)+(r+(Vpre(i)/2))*
T2)/sqrt(Vpre(i)*T2);
b2ESTIMASI(i)=b1ESTIMASI(i)-
sqrt(Vpre(i)*T2);
Na2ESTIMASI(i)=normcdf(a2ESTIMASI(i),mean(a2
ESTIMASI),std(a2ESTIMASI));
   %Variabel   fungsi   normal   bivariate
standard
a11ESTIMASI(i)=(a1ESTIMASI(i)-
          mean(a1ESTIMASI))/std(a1ESTIMASI);
b11ESTIMASI(i)=(b1ESTIMASI(i)-
          mean(b1ESTIMASI))/std(b1ESTIMASI);
a21ESTIMASI(i)=(a2ESTIMASI(i)-
          mean(a2ESTIMASI))/std(a2ESTIMASI);
b21ESTIMASI(i)=(b2ESTIMASI(i)-
          mean(b2ESTIMASI))/std(b2ESTIMASI);
FESTIMASI(i)=bivaESTIMASI1(a11ESTIMASI(i),b1
1ESTIMASI(i));   %fungsi normal bivariate
F1ESTIMASI(i)=bivaESTIMASI2(a21ESTIMASI(i),b
21ESTIMASI(i));   %fungsi normal bivariate
%formula a call on a call compound option
cestimasi(i)=S(i)*FESTIMASI(i)-X2*exp(-
r*T2)*F1ESTIMASI(i)-X1*exp(-
r*T1)*Na2ESTIMASI(i);
```

LAMPIRAN 12
Fungsi Distribusi Normal Bivarite pada c_EKF1

```
function [FEKF] = bivaEKF1(a11EKF,b11EKF)
clear all
z1 = -10.1:0.1:a11EKF;
z2 = -10.1:0.1:b11EKF;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z1)
    for j = 1:length(z2)
        ff(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z1(i)^2-
2*rho*z1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z1)-1
    for j = 1:length(z2)-1
        g0(i,j)=ff(i+1,j+1); %% g(0,0) = f
        g1(i,j)=ff(i,j+1);  %% g(z1-0.1,z2)
        g2(i,j)=ff(i+1,j);  %% g(z1,z2-0.1)
        g3(i,j)=ff(i,j); %% g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h = 0.25*(g0+g1+g2+g3);       %% nilai h
P = delta^2*h;                %% nilai P
for j1 = 1:length(z1)-1
    Ff(j1) = sum(P(j1,:));
end
FEKF = sum(Ff);
```

LAMPIRAN 13
Fungsi Distribusi Normal Bivarite pada c_EKF2

```
function [F1EKF] = bivaEKF2(a21EKF,b21EKF)
clear all
z11 = -10.1:0.1:a21EKF;
z21 = -10.1:0.1:b21EKF;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z11)
    for j = 1:length(z21)
        ff1(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z11(i)^2-
2*rho*z11(i)*z21(j)+z21(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z11)-1
    for j = 1:length(z21)-1
        g01(i,j)=ff1(i+1,j+1); %% g(0,0) = f
        g11(i,j)=ff1(i,j+1); %% g(z1-0.1,z2)
        g21(i,j)=ff1(i+1,j); %% g(z1,z2-0.1)
        g31(i,j)=ff1(i,j);% g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h1 = 0.25*(g01+g11+g21+g31);     %% nilai h
P1 = delta^2*h1;                %% nilai P
for j1 = 1:length(z11)-1
    Ff1(j1) = sum(P1(j1,:));
end
F1EKF = sum(Ff1);
```

LAMPIRAN 14
Fungsi Distribusi Normal bivarite pada c_estimasi1

```
function[FESTIMASI]=bivaESTIMASI1(a11ESTIMAS
I,b11ESTIMASI)
clear all
z1 = -10.1:0.1:a11ESTIMASI;
z2 = -10.1:0.1:b11ESTIMASI;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z1)
    for j = 1:length(z2)
        ff(i,j)      =      (1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z1(i)^2-
2*rho*z1(i)*z2(j)+z2(j)^2)/(2*(1-rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z1)-1
    for j = 1:length(z2)-1
        g0(i,j)= ff(i+1,j+1);  %% g(0,0) = f
        g1(i,j)=ff(i,j+1);   %% g(z1-0.1,z2)
        g2(i,j)=ff(i+1,j);  %% g(z1,z2-0.1)
        g3(i,j)=ff(i,j); %% g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h = 0.25*(g0+g1+g2+g3);      %% nilai h
P = delta^2*h;               %% nilai P
for j1 = 1:length(z1)-1
    Ff(j1) = sum(P(j1,:));
end
FESTIMASI = sum(Ff);
```

LAMPIRAN 15

Fungsi Distribusi Normal Bivarite pada c_estimasi2

```
function[F1ESTIMASI]=bivaESTIMASI2(a21ESTIMA
SI,b21ESTIMASI)
clear all
z11 = -10.1:0.1:a21ESTIMASI;
z21 = -10.1:0.1:b21ESTIMASI;
rho = 0.6;
delta = 0.1;
for i = 1:length(z11)
    for j = 1:length(z21)
        ff1(i,j)=(1/(2*pi*sqrt(1-
rho^2)))*exp(-(z11(i)^2-
2*rho*z11(i)*z21(j)+z21(j)^2)/(2*(1-
rho^2)));
    end
end
clear i j
for i = 1:length(z11)-1
    for j = 1:length(z21)-1
        g01(i,j)=ff1(i+1,j+1); %% g(0,0) = f
        g11(i,j)=ff1(i,j+1); %% g(z1-0.1,z2)
        g21(i,j)=ff1(i+1,j); %% g(z1,z2-0.1)
        g31(i,j)=ff1(i,j);%%g(z1-0.1,z2-0.1)
    end
end
h1 = 0.25*(g01+g11+g21+g31);     %% nilai h
P1 = delta^2*h1;                  %% nilai P
for j1 = 1:length(z11)-1
    Ff1(j1) = sum(P1(j1,:));
end
F1ESTIMASI = sum(Ff1);
```

LAMPIRAN 16
Program Estimasi Volatilitas dengan *GARCH(1,1)* pada Harga Saham dengan Gangguan

```
clear all;
warning off MATLAB:divideByZero;
load cmarketg
%Estimasi parameter
format long
U(1)=0;
for i=2:150
U(i)=(S(i)-S(i-1))/S(i-1);
end
%   Set   the   simulation   parameters   of
GARCH(P,Q) = GARCH(1,1) process.
P = 1;  %Model order P (P=length of Alpha)
Q = 1;  %Model order Q (Q=length of Beta)
NumSamples=150;
[Omega,Alpha,Beta]=ugarch(U', P, Q);
%memasukkan formula volatilitas
i=1,2;
varian(i)=0;
varian(3)=U(2)^2;
for i=4:150
varian(i)=Omega+Alpha*(U(i-
1)^2)+Beta*varian(i-1);
end
vol=sqrt(varian);
save volcmarketg
%plot grafik volatilitas
plot(3:150,vol(3:150),'red')
legend('Volatilitas GARCH')
xlabel('Data ke-')
ylabel('volatilitas')
Grid on;
```

LAMPIRAN 17
Program Bangkitan Noise(w)

```
clear all;
clc;
Q=0.000025;
w=Q*randn(1,150)

save randomnoise_w
```

LAMPIRAN 18
Program Bangkitan Noise(y)

```
clear all;
clc;
R=0.000025;
y=R*randn(1,150)

save randomnoise_y
```

LAMPIRAN 19
Hasil Estimasi A call On A Call Compound Option (Harga Saham Tanpa Gangguan)

$X=77$, $X_1=1$, $X_2=76$, $r=0.05$, $T_1=0.25$, $T_2=0.5$, dan $t=0.1$

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
1	83.38216	-	-	-	-	-	-	-
2	83.58190	-	-	-	-	-	-	-
3	83.49994	6.21772	0.00240	6.21769	0.00240	6.21769	0.00001	0.00001
4	82.45696	3.48441	0.00442	2.88215	0.00442	2.88215	0.17284	0.17284
5	83.04170	2.19471	0.01007	1.67419	0.01007	1.67419	0.23717	0.23717
6	83.26982	2.88065	0.00785	2.28903	0.00785	2.28903	0.20538	0.20538
7	82.30307	3.39993	0.00572	2.23391	0.00572	2.23391	0.34295	0.34295
8	82.92439	1.63769	0.00964	1.65065	0.00964	1.65065	0.00791	0.00791
9	83.19763	2.55092	0.00797	2.09781	0.00797	2.09781	0.17763	0.17763
10	82.19881	1.93546	0.00589	2.19486	0.00589	2.19486	0.13403	0.13403
11	82.36206	1.38589	0.00990	1.29820	0.00990	1.29820	0.06328	0.06328
12	83.20509	3.52883	0.00610	3.19253	0.00610	3.19253	0.09530	0.09530
13	82.82305	2.11642	0.00885	1.61392	0.00885	1.61392	0.23743	0.23743
14	83.08155	3.45917	0.00652	2.81832	0.00652	2.81832	0.18526	0.18526

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
15	83.49051	4.84657	0.00552	3.99106	0.00552	3.99106	0.17652	0.17652
16	83.06088	3.79139	0.00598	3.13226	0.00598	3.13226	0.17385	0.17385
17	82.44285	3.15801	0.00616	2.28572	0.00616	2.28572	0.27621	0.27621
18	83.19234	1.70261	0.00728	2.24309	0.00728	2.24309	0.31744	0.31744
19	82.74486	1.83725	0.00835	1.34772	0.00835	1.34772	0.26645	0.26645
20	82.42865	1.52742	0.00671	2.01699	0.00671	2.01699	0.32052	0.32052
21	83.84590	3.98181	0.00578	4.54992	0.00578	4.54992	0.14268	0.14268
22	82.86517	0.55495	0.01325	0.68344	0.01325	0.68344	0.23154	0.23154
23	82.36969	0.92882	0.01090	0.75907	0.01090	0.75907	0.18276	0.18276
24	83.13573	2.84976	0.00756	2.23113	0.00756	2.23113	0.21708	0.21708
25	83.64525	2.38687	0.00851	2.08045	0.00851	2.08045	0.12838	0.12838
26	83.11522	2.21235	0.00707	2.51644	0.00707	2.51644	0.13745	0.13745
27	83.21092	3.86729	0.00688	2.87588	0.00688	2.87588	0.25636	0.25636
28	82.87739	5.07007	0.00520	4.33718	0.00520	4.33718	0.14455	0.14455
29	82.74891	5.38868	0.00557	3.45564	0.00557	3.45564	0.35872	0.35872
30	83.25025	6.26329	0.00497	5.18881	0.00497	5.18881	0.17155	0.17155
31	82.73129	2.97695	0.00642	2.37840	0.00642	2.37840	0.20106	0.20106
32	82.86289	3.03620	0.00672	2.44534	0.00672	2.44534	0.19461	0.19461

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
33	82.56967	3.37122	0.00522	3.68787	0.00522	3.68787	0.09393	0.09393
34	82.49232	1.32706	0.00541	3.18561	0.00541	3.18561	1.40051	1.40051
35	82.69543	2.08401	0.00486	4.36496	0.00486	4.36496	1.09450	1.09450
36	82.24743	2.08773	0.00503	3.20638	0.00503	3.20638	0.53582	0.53582
37	82.94719	2.46690	0.00613	2.75101	0.00613	2.75101	0.11517	0.11517
38	82.87603	1.87073	0.00786	1.38908	0.00786	1.38908	0.25747	0.25747
39	82.80616	2.41585	0.00541	3.65172	0.00541	3.65172	0.51157	0.51157
40	81.73160	3.10619	0.00485	2.69078	0.00485	2.69078	0.13373	0.13373
41	82.57739	0.42101	0.01042	0.52556	0.01042	0.52556	0.24832	0.24832
42	82.94751	0.90820	0.00959	0.83338	0.00959	0.83338	0.08239	0.08239
43	83.00593	1.42332	0.00667	2.48424	0.00667	2.48424	0.74538	0.74538
44	82.91340	4.35063	0.00511	4.33451	0.00511	4.33451	0.00370	0.00370
45	82.80798	2.14010	0.00482	4.73006	0.00482	4.73006	1.21021	1.21021
46	82.04535	3.40313	0.00479	3.40745	0.00479	3.40745	0.00127	0.00127
47	82.99140	1.29653	0.00810	1.18693	0.00810	1.18693	0.08454	0.08454
48	82.76227	0.98935	0.00988	0.59412	0.00988	0.59412	0.39948	0.39948
49	83.06241	2.48221	0.00625	2.96035	0.00625	2.96035	0.19262	0.19262
50	83.11771	3.15164	0.00562	3.96957	0.00562	3.96957	0.25952	0.25952
51	82.78424	4.41552	0.00488	4.56705	0.00488	4.56705	0.03432	0.03432

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1,1)	Error Metode EKF
52	82.98454	4.38948	0.00552	3.73237	0.00552	3.73237	0.14970	0.14970
53	82.66292	4.33993	0.00514	3.88978	0.00514	3.88978	0.10372	0.10372
54	82.66911	2.67224	0.00551	3.27115	0.00551	3.27115	0.22412	0.22412
55	82.63992	6.05755	0.00483	4.49199	0.00483	4.49199	0.25845	0.25845
56	82.36186	1.28413	0.00471	4.16880	0.00471	4.16880	2.24640	2.24640
57	82.93988	4.19532	0.00527	4.03748	0.00527	4.03748	0.03762	0.03762
58	83.42767	3.61807	0.00694	2.30841	0.00694	2.30841	0.36198	0.36198
59	82.54440	2.75592	0.00665	1.53666	0.00665	1.53666	0.44241	0.44241
60	82.58189	0.52598	0.00912	0.52146	0.00912	0.52146	0.00859	0.00859
61	83.17815	4.17703	0.00572	3.84649	0.00572	3.84649	0.07913	0.07913
62	82.84537	0.66667	0.00711	1.62507	0.00711	1.62507	1.43759	1.43759
63	83.57671	2.82446	0.00592	4.21537	0.00592	4.21537	0.49245	0.49245
64	81.99775	0.48161	0.00801	0.52250	0.00801	0.52250	0.08491	0.08491
65	82.32272	0.07925	0.01457	0.07639	0.01457	0.07639	0.03614	0.03614
66	82.45422	1.53924	0.00795	0.84435	0.00795	0.84435	0.45145	0.45145
67	83.88601	5.56757	0.00552	5.76997	0.00552	5.76997	0.03635	0.03635
68	83.03632	0.11766	0.01334	0.18558	0.01334	0.18558	0.57728	0.57728
69	82.61003	0.41017	0.01009	0.42402	0.01009	0.42402	0.03376	0.03376
70	82.84074	2.12977	0.00703	1.88141	0.00703	1.88141	0.11661	0.11661

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
71	82.67241	2.64708	0.00554	3.42404	0.00554	3.42404	0.29351	0.29351
72	83.30233	6.96951	0.00505	5.51381	0.00505	5.51381	0.20887	0.20887
73	82.83504	1.16643	0.00723	1.62404	0.00723	1.62404	0.39232	0.39232
74	83.22447	4.85906	0.00658	2.70330	0.00658	2.70330	0.44366	0.44366
75	83.16816	2.84851	0.00608	3.32641	0.00608	3.32641	0.16777	0.16777
76	82.71351	4.07008	0.00497	4.53250	0.00497	4.53250	0.11361	0.11361
77	82.77077	4.85162	0.00614	2.71266	0.00614	2.71266	0.44087	0.44087
78	82.88844	4.63146	0.00499	4.94902	0.00499	4.94902	0.06857	0.06857
79	82.43684	4.21163	0.00484	4.20815	0.00484	4.20815	0.00083	0.00083
80	82.70993	4.06596	0.00611	2.36824	0.00611	2.36824	0.41755	0.41755
81	82.78257	4.56950	0.00550	3.64769	0.00550	3.64769	0.20173	0.20173
82	82.32782	3.86866	0.00487	3.84546	0.00487	3.84546	0.00600	0.00600
83	83.28270	5.91131	0.00614	3.20634	0.00614	3.20634	0.45759	0.45759
84	82.27501	0.31484	0.00967	0.27654	0.00967	0.27654	0.12164	0.12164
85	82.48003	0.15248	0.01046	0.25631	0.01046	0.25631	0.68091	0.68091
86	82.25661	1.59591	0.00635	1.58968	0.00635	1.58968	0.00390	0.00390
87	83.34498	7.15020	0.00537	4.92065	0.00537	4.92065	0.31182	0.31182
88	82.49479	0.24970	0.01062	0.26093	0.01062	0.26093	0.04500	0.04500
89	81.98571	0.42208	0.00955	0.26698	0.00955	0.26698	0.36747	0.36747

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1,1)	Error Metode EKF
90	83.22215	1.97149	0.00732	1.82471	0.00732	1.82471	0.07445	0.07445
91	83.52830	0.42181	0.01200	0.29491	0.01200	0.29491	0.30084	0.30084
92	83.15352	4.31912	0.00708	1.93738	0.00708	1.93738	0.55144	0.55144
93	82.89366	4.95383	0.00609	3.07030	0.00609	3.07030	0.38022	0.38022
94	82.40756	1.87194	0.00544	3.14970	0.00544	3.14970	0.68258	0.68258
95	82.45980	0.77753	0.00639	1.88985	0.00639	1.88985	1.43057	1.43057
96	83.42493	5.59647	0.00504	6.01617	0.00504	6.01617	0.07499	0.07499
97	83.38653	1.37008	0.00963	0.64745	0.00963	0.64745	0.52743	0.52743
98	82.53004	2.75577	0.00586	2.59853	0.00586	2.59853	0.05706	0.05706
99	83.21872	1.24066	0.00884	0.86283	0.00884	0.86283	0.30454	0.30454
100	82.93187	0.43812	0.00821	1.00335	0.00821	1.00335	1.29015	1.29015
101	82.64426	1.83133	0.00599	2.64361	0.00599	2.64361	0.44355	0.44355
102	82.42095	4.20445	0.00552	2.99206	0.00552	2.99206	0.28836	0.28836
103	82.96583	6.23448	0.00521	4.68084	0.00521	4.68084	0.24920	0.24920
104	81.94037	0.79307	0.00672	1.12751	0.00672	1.12751	0.42170	0.42170
105	82.06009	0.27166	0.01021	0.18070	0.01021	0.18070	0.33484	0.33484
106	83.80773	7.03741	0.00611	4.68982	0.00611	4.68982	0.33359	0.33359
107	82.79108	0.03462	0.01603	0.03988	0.01603	0.03988	0.15213	0.15213
108	84.10636	0.45865	0.01177	0.46018	0.01177	0.46018	0.00333	0.00333

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
109	82.70764	0.11162	0.01310	0.11249	0.01310	0.11249	0.00781	0.00781
110	82.91052	0.16246	0.01378	0.11807	0.01378	0.11807	0.27321	0.27321
111	83.27572	2.87446	0.00737	1.97567	0.00737	1.97567	0.31268	0.31268
112	82.73918	1.84078	0.00612	2.83298	0.00612	2.83298	0.53901	0.53901
113	82.57207	1.32648	0.00677	1.80241	0.00677	1.80241	0.35879	0.35879
114	83.52347	5.51251	0.00531	5.80415	0.00531	5.80415	0.05291	0.05291
115	82.40240	0.77621	0.00954	0.41562	0.00954	0.41562	0.46456	0.46456
116	83.21939	0.71048	0.01124	0.36947	0.01124	0.36947	0.47998	0.47998
117	82.57746	0.77832	0.00952	0.40976	0.00952	0.40976	0.47353	0.47353
118	83.18821	2.37237	0.00802	1.45877	0.00802	1.45877	0.38510	0.38510
119	83.23904	3.36149	0.00757	1.83151	0.00757	1.83151	0.45515	0.45515
120	82.42199	1.51762	0.00532	3.76929	0.00532	3.76929	1.48368	1.48368
121	83.08569	1.02060	0.00851	1.01646	0.00851	1.01646	0.00406	0.00406
122	83.32911	2.74542	0.00800	1.60084	0.00800	1.60084	0.41691	0.41691
123	82.31382	1.60265	0.00580	2.66132	0.00580	2.66132	0.66058	0.66058
124	83.00248	0.75580	0.01000	0.43530	0.01000	0.43530	0.42406	0.42406
125	82.80822	0.97768	0.00845	0.79835	0.00845	0.79835	0.18343	0.18343
126	82.22830	1.59588	0.00578	2.63303	0.00578	2.63303	0.64989	0.64989
127	82.69217	1.59945	0.00700	1.83932	0.00700	1.83932	0.14997	0.14997

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
128	82.74800	3.14472	0.00655	2.39916	0.00655	2.39916	0.23708	0.23708
129	82.29845	5.59451	0.00508	4.13735	0.00508	4.13735	0.26046	0.26046
130	81.87447	3.16799	0.00614	1.74862	0.00614	1.74862	0.44804	0.44804
131	82.38323	1.87456	0.00618	2.27120	0.00618	2.27120	0.21159	0.21159
132	82.82342	3.66830	0.00667	2.43505	0.00667	2.43505	0.33619	0.33619
133	81.98683	0.79783	0.00636	1.52989	0.00636	1.52989	0.91758	0.91758
134	83.44123	2.14437	0.00880	1.05973	0.00880	1.05973	0.50581	0.50581
135	82.53373	0.07810	0.01389	0.08440	0.01389	0.08440	0.08071	0.08071
136	81.82104	0.20194	0.01060	0.15345	0.01060	0.15345	0.24013	0.24013
137	82.88014	1.40379	0.00871	0.81839	0.00871	0.81839	0.41701	0.41701
138	83.55057	0.53180	0.01083	0.54075	0.01083	0.54075	0.01683	0.01683
139	82.85194	1.16457	0.00849	0.99627	0.00849	0.99627	0.14452	0.14452
140	82.90501	2.00910	0.00815	1.18928	0.00815	1.18928	0.40805	0.40805
141	82.81304	6.73545	0.00547	4.43254	0.00547	4.43254	0.34191	0.34191
142	82.91066	5.97726	0.00489	5.74911	0.00489	5.74911	0.03817	0.03817
143	83.25573	2.40521	0.00479	6.67856	0.00479	6.67856	1.77670	1.77670
144	82.91491	4.95968	0.00556	4.34239	0.00556	4.34239	0.12446	0.12446
145	83.19395	2.84539	0.00566	4.83869	0.00566	4.83869	0.70053	0.70053
146	83.07354	1.91960	0.00543	5.06906	0.00543	5.06906	1.64069	1.64069

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
147	82.89036	5.74476	0.00493	5.74915	0.00493	5.74915	0.00076	0.00076
148	82.96254	3.88483	0.00498	5.53492	0.00498	5.53492	0.42475	0.42475
149	82.34750	4.16960	0.00477	4.70052	0.00477	4.70052	0.12733	0.12733
150	82.36638	0.92554	0.00709	1.29435	0.00709	1.29435	0.39848	0.39848
				Rata-rata RPE			**0.33705**	**0.33705**

LAMPIRAN 20

Hasil Estimasi *A call On A Call Compound Option* (Harga Saham dengan Gangguan)

$X=77$, $X_1=1$, $X_2=76$, $r=0.05$, $T_1=0.25$, $T_2=0.5$, dan $t=0.1$

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilits EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
1	83.382156	-	-	-	-	-	-	-
2	83.581898	-	-	-	-	-	-	-
3	83.499936	6.217721	0.002396	6.217687	0.002396	6.217687	0.000006	0.000006
4	82.456956	3.484407	0.004421	2.882146	0.004421	2.882146	0.172845	0.172845
5	83.041702	2.194712	0.010072	1.674192	0.010072	1.674192	0.237170	0.237170
6	83.269821	2.880650	0.007847	2.289031	0.007847	2.289031	0.205377	0.205377
7	82.303073	3.399930	0.005718	2.233914	0.005718	2.233914	0.342953	0.342953
8	82.924388	1.637690	0.009636	1.650652	0.009636	1.650652	0.007915	0.007915
9	83.197634	2.550923	0.007969	2.097808	0.007969	2.097808	0.177628	0.177628
10	82.198810	1.935457	0.005893	2.194862	0.005893	2.194862	0.134028	0.134028
11	82.362058	1.385889	0.009900	1.298197	0.009900	1.298197	0.063275	0.063275
12	83.205090	3.528833	0.006101	3.192529	0.006101	3.192529	0.095302	0.095302
13	82.823050	2.116423	0.008847	1.613924	0.008847	1.613924	0.237428	0.237428
14	83.081549	3.459168	0.006523	2.818318	0.006523	2.818318	0.185261	0.185261

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
15	83.490509	4.846571	0.005522	3.991057	0.005522	3.991057	0.176519	0.176519
16	83.060878	3.791392	0.005984	3.132259	0.005984	3.132259	0.173850	0.173850
17	82.442847	3.158008	0.006155	2.285719	0.006155	2.285719	0.276215	0.276215
18	83.192343	1.702608	0.007284	2.243092	0.007284	2.243092	0.317445	0.317445
19	82.744862	1.837249	0.008349	1.347716	0.008349	1.347716	0.266449	0.266449
20	82.428645	1.527419	0.006714	2.016993	0.006714	2.016993	0.320524	0.320524
21	83.845905	3.981812	0.005781	4.549923	0.005781	4.549923	0.142677	0.142677
22	82.865166	0.554947	0.013245	0.683440	0.013245	0.683440	0.231541	0.231541
23	82.369688	0.928818	0.010903	0.759069	0.010903	0.759069	0.182758	0.182758
24	83.135726	2.849756	0.007561	2.231129	0.007561	2.231129	0.217081	0.217081
25	83.645250	2.386866	0.008508	2.080448	0.008508	2.080448	0.128377	0.128377
26	83.115222	2.212346	0.007069	2.516436	0.007069	2.516436	0.137451	0.137451
27	83.210923	3.867290	0.006883	2.875883	0.006883	2.875883	0.256357	0.256357
28	82.877390	5.070072	0.005198	4.337184	0.005198	4.337184	0.144552	0.144552
29	82.748908	5.388680	0.005569	3.455641	0.005569	3.455641	0.358722	0.358722
30	83.250249	6.263291	0.004971	5.188812	0.004971	5.188812	0.171552	0.171552
31	82.731289	2.976946	0.006418	2.378398	0.006418	2.378398	0.201061	0.201061
32	82.862888	3.036204	0.006721	2.445339	0.006721	2.445339	0.194607	0.194607
33	82.569672	3.371220	0.005220	3.687865	0.005220	3.687865	0.093926	0.093926

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilits EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
34	82.49232	1.32706	0.00541	3.18561	0.00541	3.18561	1.40051	1.40051
35	82.69543	2.08401	0.00486	4.36496	0.00486	4.36496	1.09450	1.09450
36	82.24743	2.08773	0.00503	3.20638	0.00503	3.20638	0.53582	0.53582
37	82.94719	2.46690	0.00613	2.75101	0.00613	2.75101	0.11517	0.11517
38	82.87603	1.87073	0.00786	1.38908	0.00786	1.38908	0.25747	0.25747
39	82.80616	2.41585	0.00541	3.65172	0.00541	3.65172	0.51157	0.51157
40	81.73160	3.10619	0.00485	2.69078	0.00485	2.69078	0.13373	0.13373
41	82.57739	0.42101	0.01042	0.52556	0.01042	0.52556	0.24832	0.24832
42	82.94751	0.90820	0.00959	0.83338	0.00959	0.83338	0.08239	0.08239
43	83.00593	1.42332	0.00667	2.48424	0.00667	2.48424	0.74538	0.74538
44	82.91340	4.35063	0.00511	4.33451	0.00511	4.33451	0.00370	0.00370
45	82.80798	2.14010	0.00482	4.73006	0.00482	4.73006	1.21021	1.21021
46	82.04535	3.40313	0.00479	3.40745	0.00479	3.40745	0.00127	0.00127
47	82.99140	1.29653	0.00810	1.18693	0.00810	1.18693	0.08454	0.08454
48	82.76227	0.98935	0.00988	0.59412	0.00988	0.59412	0.39948	0.39948
49	83.06241	2.48221	0.00625	2.96035	0.00625	2.96035	0.19262	0.19262
50	83.11771	3.15164	0.00562	3.96957	0.00562	3.96957	0.25952	0.25952
51	82.78424	4.41552	0.00488	4.56705	0.00488	4.56705	0.03432	0.03432
52	82.98454	4.38948	0.00552	3.73237	0.00552	3.73237	0.14970	0.14970

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
53	82.662925	4.339929	0.005136	3.889782	0.005136	3.889782	0.103722	0.103722
54	82.669107	2.672241	0.005510	3.271152	0.005510	3.271152	0.224123	0.224123
55	82.639924	6.057550	0.004834	4.491994	0.004834	4.491994	0.258447	0.258447
56	82.361859	1.284130	0.004712	4.168800	0.004712	4.168800	2.246399	2.246399
57	82.939880	4.195320	0.005267	4.037482	0.005267	4.037482	0.037622	0.037622
58	83.427675	3.618068	0.006939	2.308411	0.006939	2.308411	0.361977	0.361977
59	82.544399	2.755920	0.006649	1.536664	0.006649	1.536664	0.442413	0.442413
60	82.581894	0.525980	0.009124	0.521464	0.009124	0.521464	0.008585	0.008585
61	83.178155	4.177034	0.005720	3.846491	0.005720	3.846491	0.079133	0.079133
62	82.845368	0.666671	0.007106	1.625068	0.007106	1.625068	1.437587	1.437587
63	83.576708	2.824463	0.005924	4.215373	0.005924	4.215373	0.492451	0.492451
64	81.997752	0.481605	0.008008	0.522499	0.008008	0.522499	0.084911	0.084911
65	82.322720	0.079253	0.014568	0.076389	0.014568	0.076389	0.036141	0.036141
66	82.454222	1.539237	0.007952	0.844353	0.007952	0.844353	0.451447	0.451447
67	83.886013	5.567574	0.005515	5.769967	0.005515	5.769967	0.036352	0.036352
68	83.036320	0.117655	0.013339	0.185575	0.013339	0.185575	0.577281	0.577281
69	82.610028	0.410172	0.010088	0.424020	0.010088	0.424020	0.033760	0.033760
70	82.840741	2.129768	0.007026	1.881407	0.007026	1.881407	0.116614	0.116614
71	82.672407	2.647083	0.005539	3.424039	0.005539	3.424039	0.293514	0.293514

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilits EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
72	83.302326	6.969514	0.005053	5.513813	0.005053	5.513813	0.208867	0.208867
73	82.835043	1.166433	0.007230	1.624045	0.007230	1.624045	0.392317	0.392317
74	83.224466	4.859063	0.006582	2.703302	0.006582	2.703302	0.443658	0.443658
75	83.168161	2.848507	0.006079	3.326413	0.006079	3.326413	0.167774	0.167774
76	82.713509	4.070079	0.004975	4.532498	0.004975	4.532498	0.113614	0.113614
77	82.770769	4.851621	0.006140	2.712663	0.006140	2.712663	0.440875	0.440875
78	82.888438	4.631457	0.004989	4.949023	0.004989	4.949023	0.068567	0.068567
79	82.436836	4.211627	0.004842	4.208146	0.004842	4.208146	0.000826	0.000826
80	82.709934	4.065962	0.006113	2.368238	0.006113	2.368238	0.417546	0.417546
81	82.782566	4.569500	0.005497	3.647695	0.005497	3.647695	0.201730	0.201730
82	82.327823	3.868657	0.004871	3.845459	0.004871	3.845459	0.005997	0.005997
83	83.282697	5.911309	0.006138	3.206336	0.006138	3.206336	0.457593	0.457593
84	82.275007	0.314836	0.009675	0.276539	0.009675	0.276539	0.121641	0.121641
85	82.480035	0.152483	0.010463	0.256311	0.010463	0.256311	0.680913	0.680913
86	82.256608	1.595909	0.006355	1.589683	0.006355	1.589683	0.003902	0.003902
87	83.344982	7.150201	0.005374	4.920652	0.005374	4.920652	0.311816	0.311816
88	82.494794	0.249698	0.010623	0.260934	0.010623	0.260934	0.044999	0.044999
89	81.985714	0.422080	0.009546	0.266979	0.009546	0.266979	0.367469	0.367469
90	83.222147	1.971495	0.007315	1.824709	0.007315	1.824709	0.074454	0.074454

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
91	83.528296	0.421808	0.012000	0.294913	0.012000	0.294913	0.300835	0.300835
92	83.153518	4.319117	0.007084	1.937385	0.007084	1.937385	0.551440	0.551440
93	82.893661	4.953828	0.006095	3.070304	0.006095	3.070304	0.380216	0.380216
94	82.407556	1.871942	0.005436	3.149699	0.005436	3.149699	0.682584	0.682584
95	82.459801	0.777532	0.006391	1.889848	0.006391	1.889848	1.430571	1.430571
96	83.424933	5.596474	0.005040	6.016172	0.005040	6.016172	0.074993	0.074993
97	83.386530	1.370077	0.009629	0.647454	0.009629	0.647454	0.527432	0.527432
98	82.530036	2.755772	0.005863	2.598531	0.005863	2.598531	0.057059	0.057059
99	83.218717	1.240658	0.008840	0.862826	0.008840	0.862826	0.304542	0.304542
100	82.931873	0.438116	0.008211	1.003353	0.008211	1.003353	1.290152	1.290152
101	84.330039	4.757143	0.005994	5.866540	0.005994	5.866540	0.233206	0.233206
102	85.360672	1.098536	0.013040	0.526749	0.013040	0.526749	0.520499	0.520499
103	85.347392	2.277213	0.011152	1.097552	0.011152	1.097552	0.518028	0.518028
104	86.884786	10.182591	0.006310	10.186755	0.006310	10.186755	0.000409	0.000409
105	88.104298	3.101261	0.013833	1.550591	0.013833	1.550591	0.500013	0.500013
106	89.728680	8.931058	0.012350	4.046039	0.012350	4.046039	0.546970	0.546970
107	90.764651	5.108668	0.014798	2.835728	0.014798	2.835728	0.444918	0.444918
108	89.616903	7.495240	0.011166	5.702138	0.011166	5.702138	0.239232	0.239232
109	92.152892	14.443214	0.011038	10.480807	0.011038	10.480807	0.274344	0.274344

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilits EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
110	92.595281	2.281519	0.021210	1.200005	0.021210	1.200005	0.474032	0.474032
111	93.132265	17.061093	0.010419	13.803303	0.010419	13.803303	0.190948	0.190948
112	92.836864	17.257142	0.007368	17.136108	0.007368	17.136108	0.007014	0.007014
113	92.329798	16.832777	0.005719	16.837666	0.005719	16.837666	0.000290	0.000290
114	93.214793	17.722475	0.006250	17.699393	0.006250	17.699393	0.001302	0.001302
115	92.406557	16.817031	0.008484	14.802321	0.008484	14.802321	0.119802	0.119802
116	93.248770	17.721073	0.008317	16.499622	0.008317	16.499622	0.068926	0.068926
117	92.293680	16.555582	0.008528	14.316257	0.008528	14.316257	0.135261	0.135261
118	92.627316	16.340212	0.009195	13.676041	0.009195	13.676041	0.163044	0.163044
119	92.418266	16.925317	0.006288	16.828716	0.006288	16.828716	0.005707	0.005707
120	92.539017	16.839926	0.005252	17.046000	0.005252	17.046000	0.012237	0.012237
121	93.463588	17.949696	0.004873	17.974803	0.004873	17.974803	0.001399	0.001399
122	94.001375	18.017902	0.008566	15.641028	0.008566	15.641028	0.131917	0.131917
123	92.552115	16.153139	0.006918	16.152327	0.006918	16.152327	0.000050	0.000050
124	92.041861	9.051461	0.012176	5.555100	0.012176	5.555100	0.386276	0.386276
125	92.998744	16.579051	0.007718	15.587168	0.007718	15.587168	0.059827	0.059827

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilitas EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
126	93.152453	14.268226	0.009158	12.757376	0.009158	12.757376	0.105889	0.105889
127	92.516575	16.672792	0.005842	16.869022	0.005842	16.869022	0.011770	0.011770
128	92.432957	16.591094	0.006921	15.831726	0.006921	15.831726	0.045770	0.045770
129	92.938938	17.449902	0.005182	17.415622	0.005182	17.415622	0.001964	0.001964
130	93.412535	17.903879	0.006173	17.550103	0.006173	17.550103	0.019760	0.019760
131	92.223718	15.763959	0.006167	16.019894	0.006167	16.019894	0.016235	0.016235
132	92.774265	12.264009	0.010379	8.741080	0.010379	8.741080	0.287258	0.287258
133	92.417251	13.468208	0.007427	14.148172	0.007427	14.148172	0.050487	0.050487
134	93.205163	17.670316	0.005941	17.347163	0.005941	17.347163	0.018288	0.018288
135	93.020813	16.716231	0.007841	14.174182	0.007841	14.174182	0.152071	0.152071
136	92.605779	17.055565	0.005551	16.883622	0.005551	16.883622	0.010081	0.010081
137	93.250561	17.552599	0.005800	17.392278	0.005800	17.392278	0.009134	0.009134
138	94.186145	16.518643	0.006985	17.199760	0.006985	17.199760	0.041233	0.041233
139	92.697767	12.563256	0.008842	10.567355	0.008842	10.567355	0.158868	0.158868
140	92.585459	7.180423	0.012639	4.473904	0.012639	4.473904	0.376930	0.376930
141	93.346681	17.582806	0.006837	16.122726	0.006837	16.122726	0.083040	0.083040
142	92.491853	14.267446	0.007803	12.405080	0.007803	12.405080	0.130533	0.130533
143	93.042680	10.048491	0.008467	11.785396	0.008467	11.785396	0.172852	0.172852
144	93.083797	16.066836	0.006984	15.386885	0.006984	15.386885	0.042320	0.042320

No	Harga Saham	cmarket	Volatilitas Garch(1,1)	cgarch	Volatilits EKF	cEKF	Error Metode GARCH (1.1)	Error Metode EKF
145	92.976682	15.972168	0.005166	17.332056	0.005166	17.332056	0.085141	0.085141
146	92.381131	13.934965	0.004837	16.779985	0.004837	16.779985	0.204164	0.204164
147	92.441694	15.483517	0.006571	14.827834	0.006571	14.827834	0.042347	0.042347
148	92.673060	15.960397	0.005082	16.949816	0.005082	16.949816	0.061992	0.061992
149	93.310386	17.465779	0.005077	17.637189	0.005077	17.637189	0.009814	0.009814
150	92.146804	12.160129	0.006841	13.262618	0.006841	13.262618	0.090664	0.090664
				Rata-rata RPE			**0.253481**	**0.253481**

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Gresik, 9 Desember 1985, merupakan anak pertama. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK R.A. Muslimat Samirplapan, MI Nurul Huda Samirplapan, SMPN 1 Duduk Sampeyan Gresik, SMAN 1 Gresik. Setelah lulus dari SMU Negeri 1 Gresik tahun 2003, Penulis mengikuti jalur PMDK ITS dan diterima di Jurusan Matematika FMIPA-ITS pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 1203 100 002. Di Jurusan Matematika ini Penulis mengambil Bidang Minat Riset Operasi dan Simulasi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan baik yang diselenggarakan oleh Jurusan maupun Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) dan pernah menjadi Asisten Praktikum Program Komputer I. Selain itu penulis juga aktif sebagai pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar (LKMM TD).